



**PROJEKT: TA04030824
VÝZKUM A HODNOCENÍ RIZIK SVAHOVÝCH
NESTABILIT V LINÍCH HLAVNÍCH
PLÁNOVANÝCH DOPRAVNÍCH KORIDORŮ**

Vedoucí projektu: Ing. Jan Šikula, Ph.D.

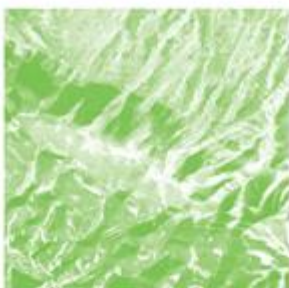
Spoluřešitelé: RNDr. Oldřich Krejčí, Ph.D; Ing. Vladimíra Krejčí;

Mgr. Roman Novotný; Mgr. Aleš Havlín, Ph.D.; Mgr. Baldík Vít;

Ing. Jan Malík; Ing. Petr Kycl; Ing. Dagmar Kašperáková;

RNDr. Petr Mixa; Ing. Martin Dostalík; Mgr. Jan Bůžek;

Mgr. Filip Dudík



**METODIKA: Metodika určování sesuvného
hazardu v prostředí ohroženém svahovými
nestabilitami**



Předkládá ředitel České geologické služby Zdeněk Venera

Česká geologická služba/ Czech Geological Survey

Klárov 131/ 3, 118 21 Praha 1

Geologická 6, 152 00 Praha 5

Leitnerova 22, 602 00 Brno

IČO 00025798, DIČ CZ 00025798

www.geology.cz



listopad 2017

Metodika určování sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami
Projekt TA04030824, TAČR
„Výzkum a hodnocení rizik svahových nestabilit v liniích hlavních plánovaných dopravních koridorů“

T A
Č R

Metodika určování sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami byla vypracována v rámci projektu TAČR - „Výzkum a hodnocení rizik svahových nestabilit v liniích hlavních plánovaných dopravních koridorů“ - TA04030824.

Metodika určování sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami

Projekt TA04030824, TAČR

„Výzkum a hodnocení rizik svahových nestabilit v liniích hlavních plánovaných dopravních koridorů“

Svahové nestability (sesuvy, skalní řícení, přívalové proudy) jsou problémem, na který se s rozvojem poznání přírodních procesů stále více soustředí celosvětová pozornost, neboť tento jev může zřetelně ohrozit lidské životy, zdraví i majetek.

Následkem svahových nestabilit (sesuvů, skalních řícení, přívalových proudů) jsou rozsáhlé materiální škody, především na majetku. Dochází také ke značné nevratné devastaci kulturní krajiny a často jsou ohroženy i lidské životy. Z těchto důvodů se vyspělé společnosti snaží předcházet iniciování svahových pohybů a eliminovat jejich případné negativní dopady.

Česká republika patří, vzhledem ke své pestré geologické stavbě a hustému osídlení, mezi země s vysokým výskytem a ohrožením svahovými nestabilitami - sesuvy. Nicméně, i v současné době jsou stále některá rizika opomíjena. Nejsou k dispozici podklady pro účelné a efektivní nasměrování finančního toku na eliminaci výše vyjmenovaných rizik.

V současné době je v České republice intenzivně plánována a již zahájena výstavba dálnic, rychlostních silnic a obchvatů měst. Přípravuje se výstavba vysokorychlostní železnice a modernizace stávajících železničních tratí tak, aby se Česká republika napojila na mezinárodní dopravní koridory, neboť má strategickou polohu a jakožto tranzitní země dosahují pozemní komunikace mezinárodního významu.

Česká geologická služba ve spolupráci s firmou GeoTec - GS, a.s. se od roku 2014 zabývá výše uvedenou problematikou v rámci řešení projektu TA04030824 „Výzkum a hodnocení rizik svahových nestabilit v liniích hlavních plánovaných dopravních koridorů“. Tento projekt je zpracováván a řešen v programu na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje „ALFA“ Technologické agentury ČR.

Za Českou geologickou službu se na řešení projektu spolupodílejí Ing. Jan Šikula, Ph.D. – vedoucí projektu, Mgr. Aleš Havlín, Ph.D., RNDr. Oldřich Krejčí, Ph.D., Mgr. Vít Baldík, Mgr. Roman Novotný, Ing. Vladimíra Krejčí, Ing. Dagmar Kašperáková, RNDr. Petr Mixa, Ing. Petr Kycl, Ing. Martin Dostalík, Ing. Jan Malík. Za fy. GeoTec - GS, a.s. se řešením projektu zabývají Mgr. Jan Bůžek a Mgr. Filip Dudík.

Cílem projektu je zajistit snížení dopadu přírodních hazardů nebo geohazardů (svahových nestabilit – sesuvů, skalních řícení aj.) na významné plánované silniční a železniční dopravní koridory, projektované v místech zvýšeného ohrožení těmito jevy. Dalším cílem projektu je zvýšit životnost dopravní infrastruktury a omezit škody na životním prostředí, které jsou sesuvnými procesy zapříčiněny. Projekt má dále za úkol zhodnotit rozsah ohrožení projektovaných liniových staveb, zhodnotit případnou technologickou i finanční nákladnost investičních protipatření a zlepšit bezpečnostní provozní plánování pro zvýšení ochrany proti budoucím přírodním katastrofám.

Předmětem projektu je vytvoření dvou metodik pro výzkum a hodnocení rizik svahových nestabilit podél významných plánovaných dopravních silničních a železničních koridorů, softwarové řešení detekce ohrožených úseků za účelem hodnocení jejich potenciálního rizika, optimální trasování staveb, registrace, dokumentace a kategorizace svahových nestabilit a jejich vyhodnocení, návrh technických a sanačních opatření pro sesuvy představující největší rizika.

Cíl projektu bude splněn pomocí vytvoření dvou metodik, které jsou předkládány k žádosti o provedení a schválení certifikací:

1. Metodika určování sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami

Tato metodika je založená na komplexním hodnocení přírodních parametrů, které mají vliv na stabilitu svahů. Aplikace navrhované metodiky může ušetřit značné finanční prostředky při trasování liniových staveb na území s výskytem svahových nestabilit, neboť nejen že zahrnuje v současnosti známé svahové nestability, ale na základě jejich výskytu dokáže předpovědět možný výskyt svahových nestabilit na území, ve kterém jsou liniové stavby plánovány.

2. Metodika kategorizace svahových nestabilit ohrožujících dopravní koridory

Hlavním účelem kategorizace svahových nestabilit podle předpokládaných nákladů na zajištění (zabezpečení) svahů je představa o finanční náročnosti vedení trasy liniové stavby sesuvným územím (územím náchylným k sesouvání) již na základě rešerše a orientačního inženýrskogeologického průzkumu ve fázi předprojektové přípravy.

Metodika určování sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami

Mgr. Aleš Havlín, Ph.D.

Brno, 2017

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Použitá terminologie	8
3. Cíle metodiky.....	9
4. Určení metodiky.....	10
5. Analýza potřeb uživatelů	11
6. Charakteristika metodického postupu.....	13
6.1. Svahové nestability	14
6.2. Hodnocení vstupních parametrů	14
6.3. Implementace do GIS	15
6.4. Statistická analýza.....	16
6.5. Sestavení prognózní mapy	16
7. Prostředí, ve kterém je metodika platná.....	17
8. Přehled existujících metod hodnocení sesuvného hazardu	18
8.1 Kvantitativní metody	18
8.2 Podmínková analýza	19
9. Vstupní parametry.....	22
10. Postup vytvoření prognózní mapy	32
11. Verifikace prognózních map.....	35
12. Omezení metodiky	36
Použitá literatura:	37
Seznam obrázků:.....	40
Seznam tabulek:	40

1. Úvod

Klimatické podmínky České republiky se obecně vyznačují velkou proměnlivostí počasí, ke které se v posledních desetiletích připojily výskyty extrémních klimatických jevů, reprezentovaných např. extrémními úhrny atmosférických srážek v teplejším období roku a delší období sucha v důsledku klimatických změn

Přívalové srážky, popř. extrémní tání sněhové pokrývky, je hlavním spouštěcím mechanismem sesuvů na území České republiky. Četnost výskytu nestabilit svahů se během posledních 20 let výrazně zvyšuje.

Využití výsledků modelování sesuvného hazardu umožní vyhnout se při vedení tras dopravních koridorů územím, kde je vysoká pravděpodobnost vzniku svahových nestabilit v důsledku výše uvedených podmínek. Projekt vychází z principu, že adaptace na případné procesy vyvolané globálními klimatickými změnami je efektivnější než jejich ignorace a snaha pouze o následná nákladná technická řešení.

Součástí urbanismu je i územní plánování, což zahrnuje i vedení tras dopravních koridorů spojujících jednotlivá lidská sídla. Navrhovaná metodika přispěje k optimalizaci návrhu dopravních staveb a tím i k minimalizaci dopadů na životní prostředí. Přínosem předkládané metodiky je také skutečnost, že při modelování sesuvného hazardu dokáže model predikovat prostor, kde je vysoká pravděpodobnost vzniku svahových nestabilit.

K zapojení geologických věd do procesu využití krajiny a přípravy projektů nestačí pouze hodnocení stavu geologického prostředí, ale stále více se do popředí dostává oblast prognóz interakcí geologického prostředí s existujícím a plánovaným využitím území a hodnocení rizik, spojených s geologickými hazardy (sesuvy, svahové pohyby, záplavy apod.).

2. Použitá terminologie

V české ani zahraniční literatuře nejsou termíny, které by se zabývaly problematikou svahových nestabilit, jednoznačně definovány a dochází tak k různým výkladům používaných pojmů. V jednotlivých vědeckých oborech jsou navíc zvykově používány různé definice. Podrobně se touto problematikou zabývali ve svém příspěvku BLAHŮT a KLIMEŠ (2011). V předkládané metodice je určován sesuvný hazard ve smyslu sensu lato, tj. bez určení časové složky neboť není k dispozici dostatek časových relevantních údajů, což však plně dostačuje pro regionální měřítko. Navíc doba vzniku svahové nestability není významná vzhledem k ostatním analyzovaným morfometrickým vlastnostem.

Sesuvný hazard je pravděpodobnost výskytu potenciálně škodlivého sesuvu určité intenzity v daném prostoru a čase (VARNES, 1984).

Hodnocení (určení) sesuvného hazardu spočívá v rozdělení území do homogenních jednotek podle pravděpodobnosti vzniku svahových deformací. Výsledkem jsou mapy sesuvného hazardu zobrazující místa současného i možného budoucího ohrožení svahovými deformacemi.

Mapa náchylnosti území k sesouvání zobrazuje prostorové rozmístění oblastí s podmínkami vhodnými ke vzniku svahových deformací (GLADE, CROZIER, 2005).

Riziko představuje pravděpodobné ztráty a škody na ohrožených složkách (prvcích) prostředí způsobené výskytem pravděpodobného škodlivého jevu (ONDRÁŠIK et al., 2002). LEROI (1996) definuje riziko jako očekávané ztráty (na životech, zdraví, majetku a na přerušených ekonomických aktivitách) důsledkem konkrétního hazardu v dané oblasti a v určité časové periodě. Při matematickém vyjádření je riziko produktem hazardu a zranitelnosti. Riziko lze hodnotit kvalitativně nebo kvantitativně a je možné ho vyjádřit diskretní nebo spojitou funkcí, s podmínkou, že vždy musí být hodnocené přesvědčivě a reprezentativně.

Ztráta je všeobecný termín pro ztrátu na majetku, životech nebo aktivitě. Může být přímá (vznikne přímo při daném hazardu, např. škody na majetku a pod.) nebo nepřímá (vznikne v určitém časovém horizontu po daném jevu, např. přerušení infrastruktury) (ONDRÁŠIK et al., 2002).

Zranitelnost odráží schopnost systému a jeho složek (prvků) reagovat na výskyt nebezpečného jevu ve formě ztráty nebo poškození (ONDRÁŠIK et al., 2002).

3. Cíle metodiky

Určení sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami je významným krokem ke snížení dopadu přírodních rizik (svahových nestabilit – sesuvů, skalních řícení aj.) na významné plánované silniční a železniční dopravní koridory, projektované v místech zvýšeného rizika těchto jevů. V ideálním případě se umožní, pokud je to možné, úplně vyhnout prostoru, kde se zvýšený sesuvný hazard nachází. Dále je cílem metodiky přispět ke zvýšené životnosti dopravní infrastruktury a omezit škody na dopravní infrastruktuře, ale i na lidských životech. Metodika umožní zhodnotit rozsah ohrožení projektovaných liniových staveb a zlepšit bezpečnostní provozní plánování pro zlepšení ochrany proti budoucím přírodním katastrofám.

Spolu se zvýšením bezpečnosti dopravy jde i o zvýšení bezpečnosti a životnosti dopravní infrastruktury a omezení škod na majetku. Díky informacím o potenciálním riziku na daných úsecích budou moci být plánovány jak ideální trasy dopravních koridorů, tak nezbytná sanační opatření dle stupně ohrožení daného úseku. S tím souvisí i synchronizace tohoto procesu s opravami na dotčených komunikacích a zlepšení provozního plánování.

4. Určení metodiky

Metodika je určena k použití ve fázi plánování trasy dopravního koridoru. Umožňuje provést analýzu sesuvného hazardu a výsledky analýzy předat projektantům tak, aby mohla být vybrána optimální trasa na základě výsledků určeného sesuvného hazardu. Vhodné trasování liniových staveb významně ovlivní spolehlivost a konkurenceschopnost dopravy v globálním měřítku, neboť omezí, až vyloučí možnost postižení jednotlivých dopravních koridorů svahovými nestabilitami při výstavbě.

Informace, které metodika poskytuje lze však využít nejen při plánování výstavby liniových staveb (dopravních koridorů, elektrické rozvodné sítě, ropovodů, plynovodů), ale i při jakémkoliv plošně významném územním plánování, např. při změnách územních plánů měst a obcí.

5. Analýza potřeb uživatelů

Potřeba hodnocení náchylnosti území ke svahovým nestabilitám vznikla v České republice po povodních v roce 1997, které iniciovaly vznik velkého množství sesuvů. V letech 2002, 2006, 2009, 2010 a 2013 opět zvýšené krátkodobé vysoké srážkové úhrny iniciovaly řadu svahových nestabilit. Na základě zvýšeného výskytu svahových nestabilit bylo realizováno několik projektů, např. sesuvným rizikem podél liniových staveb na Zlínsku se zabýval BÍL a kol. (2014).

V roce 2015 byla vydána publikace KOLEJKY a RAPANTA, zabývající se i vydáním výstrahy před hrozbou sesuvů. Byly vytvořeny mapy náchylnosti ke vzniku svahových deformací pro nejvíce postižené části ČR (KREJČÍ a kol., 2002).

Existující mapa náchylnosti svahů k sesouvání, která zahrnuje území celé České republiky a která vznikala v letech 2007 až 2011 (KREJČÍ et al., 2011) je dílčí vrstvou Registru svahových nestabilit. Tato mapa je rozdělena do deseti geologicko-morfologických celků a je dostupná na http://mapy.geology.cz/svahove_nestability/.

Pro tuto mapu byla použita shodná podkladová vrstva litologických charakteristik hornin na základě mapy inženýrskogeologických rajónů odvozených z geologické mapy GEOČR50 v měřítku 1 : 50 000 jako v předkládané metodice.

Dále používá shodnou vrstvu sklonitosti svahů, která vychází z vrstvy ZABAGED (1:10 000), stupeň nerovnoměrnosti ročního chodu srážek, zdroj: ČHMÚ, 1990 – 2007, maximální třídenní úhrny srážek pro dobu opakování 60 let, zdroj: ČHMÚ, 1950 – 2010, vláhovou bilanci ve vegetačním období (duben – září), zdroj: ČHMÚ, 1990 – 2007 a vzdálenost od vodoteče ZABAGED (1:10 000).

Pro hodnocení náchylnosti k sesouvání byla v případě dostatku vstupních dat rovněž použita statistická multivariační analýza, v prostoru s nedostatečnými daty metoda expertní – Indexová (KREJČÍ et al., 2011). Pro oblasti s nedostatečnými daty o výskytu svahových deformací bylo využito expertního přístupu, který spočívá v přiřazení vah (indexů) jednotlivým faktorů a jejich třídám na základě expertního odhadu. Ten vycházel z výsledků statistického zpracování vybraných oblastí a ze zkušeností zpracovatelů.

Na rozdíl od předkládané metodiky používá mapa, kterou vypracovala KREJČÍ et al., (2011), méně detailní rozčlenění, kdy je náchylnost k sesouvání rozdělena pouze do tří kategorií náchylnosti k sesouvání (nízkou, střední a vysokou).

Výhodou předkládané metodiky je její větší přesnost, protože pracuje výhradně s veličinami statisticky významnými a vhodnými pro statistické zpracování, pokud je dodržena podmínka dostatečně rozsáhlého území a tím i dostatku vstupních údajů. Jejich případný nedostatek, popř. nehomogenita se projeví již při verifikaci výstupní mapy. Vliv subjektivního hodnocení uživatele metodiky je, kromě pečlivého zpracování údajů, omezen. Jediným bodem v analýze, kdy uživatel přímo ovlivňuje postup, je závěrečná volba hranic jednotlivých intervalů sesuvného hazardu, nicméně i tato volba, resp. její vhodnost se projeví při závěrečné verifikaci výsledné prognózní mapy.

Další výhodou předkládané metodiky (na rozdíl od vydané *Mapy náchylnosti k sesouvání* pro území celé České republiky, kterou nelze průběžně aktualizovat a je platná k datu vydání) je možnost zpracovávat aktuální mapy. Registr svahových nestabilit je

Metodika určování sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami

Projekt TA04030824, TAČR

„Výzkum a hodnocení rizik svahových nestabilit v liniích hlavních plánovaných dopravních koridorů“

dynamicky se měnící vstupní vrstva (ročně přibývají do registru řádově stovky záznamů svahových nestabilit z území celé České republiky). Aktuální mapy mohou reflektovat nově vzniklé nebo nově zjištěné svahové nestability.

6. Charakteristika metodického postupu

Hodnocení sesuvného hazardu vychází ze 4 základních předpokladů (VARNES 1984; HUTCHINSON, 1995):

1. Sesuvy se s vysokou pravděpodobností vždy budou vyskytovat ve stejných geologických, geomorfologických, hydrogeologických a klimatických poměrech, jako se vyskytovaly v minulosti.
2. Hlavní příčiny, způsobující nestability svahů, jsou kontrolované parametry, které lze identifikovat.
3. Stupeň sesuvného hazardu lze hodnotit.
4. Všechny typy svahových nestabilit mohou být klasifikovatelné a identifikovatelné.

Při hodnocení sesuvného hazardu je důležité odpovědět na následující základní otázky:

- a) Kde sesuv vznikne?
- b) Jaký typ sesuvu vznikne?

Pouze pokud lze odpovědět na uvedené otázky, můžeme definovat sesuvný hazard studovaného území. Při komplexním hodnocení sesuvného hazardu však musíme odpovědět i na další otázky, např. kdy sesuv vznikne a s jakou frekvencí se budou vyskytovat v určitém období.

Při hodnocení sesuvného hazardu existuje mnoho překážek, které je třeba překonat a kterými jsou:

- a) Nespojité charakter svahových poruch v čase a prostoru.
- b) Problém určení spouštěcích faktorů, příčin a vzájemného vztahu příčina - důsledek.
- c) Nedostatek historických údajů, které se týkají frekvence těchto geodynamických procesů.

Metodika kvantitativního hodnocení a prognózy sesuvného hazardu je založená především na vhodném výběru souboru faktorů stability svahů a jejich hodnocení na základě porovnání s reálným výskytem svahových deformací na sledovaném území. Prvním krokem při prevenci negativních důsledků svahových nestabilit je vymezení oblastí a ploch s náchylností k porušení stability svahů.

Soubor parametrů, který je statisticky hodnocen v prostředí GIS (na základě porovnání s prostorovou distribucí registrovaných sesuvů) se následnou extrapolací aplikuje do stejných terénních jednotek na celém hodnoceném území. Metodika vychází z předpokladu, že v analogických podmínkách se mohou v budoucnosti vyskytnout svahové nestability. Tím vznikne nová prognózní mapa, rozdělující zájmové území do určitého počtu zón, ze kterých každá má různý stupeň náchylnosti na sesouvání. Z toho je zřejmé, že vyčleněné zóny na základě statistického přístupu hodnocení sesuvného hazardu, je možné aplikovat jen na daném území, ve kterém se statistické hodnocení provádělo, a tedy extrapolace nemá všeobecnou platnost, tj. nemůžeme terénní jednotky stejně klasifikovat v jiné oblasti, kde se podmínky náchylnosti území k sesouvání mohou mírně lišit.

Takto sestavená mapa je výsledkem mnoha operací v prostředí rastrových GIS a je tedy implicitně generovaná ve formě digitální rastrové vrstvy. Tato vrstva může být také

konvertovaná do vektorové formy.

Metody kvantitativního hodnocení sesuvného hazardu předpokládají v principu shodný všeobecný metodický postup a liší se jen v samotné aplikaci statistických metod. Postupnost prací je možné shrnout do následujících bodů:

6.1. Svahové nestability

Aktuální informace o svahových nestabilitách jsou nezbytným předpokladem pro úspěšnou statistickou analýzu a aplikaci veškerých výše uvedených metod. Svahové nestability mohou být odvozené z různých druhů archivních údajů, map, dálkového průzkumu Země apod., nezbytná je však jejich terénní verifikace. Nepostradatelným zdrojem dat je vlastní terénní mapování. Prostorová distribuce svahových nestabilit ve sledované oblasti je vyjádřena v prostředí GIS formou parametrické mapy sesuvů. Poloha sesuvů v mapě musí být zakreslená co nejpřesněji, vzhledem k požadovanému měřítku a kvalitě topografického podkladu.

6.2. Hodnocení vstupních parametrů

Metodika hodnocení sesuvného hazardu pomocí statistických metod v prostředí geografických informačních systémů (GIS) je založená na vhodném výběru parametrů, které mají vliv na stabilitu svahů. Statistické zpracování sesuvného hazardu a prognóz vychází z principu, že svahové nestability budou vznikat za podobných podmínek, za jakých vznikly v minulosti, tzn. litologické složení svahu, sklon svahu, nadmořská výška, orientace vůči světovým stranám, využití území apod.

Vybrané parametry, které mají vliv na vznik a vývoj svahových pohybů, budou zpracované do formy parametrických map a ty vstoupí do procesu statistického hodnocení pomocí mapové algebry v prostředí GIS. Poté bude následovat porovnání parametrických map s mapou inventarizace sesuvů na modelovém území. Závěry vyplývající ze statistického porovnání se následně extrapolují na celé hodnocené území a výsledkem je prognózní mapa sesuvného hazardu. Prognózní mapu sesuvného hazardu je třeba na základě matematického rozdělení (např. mediánu, směrodatné odchylky a jiných statistických hodnot) rozdělit do třech (nízký, střední, vysoký stupeň hazardu) nebo do pěti (velmi nízký, nízký, střední, vysoký, velmi vysoký stupeň hazardu) kategorií, reprezentujících stejný stupeň sesuvného hazardu.

Různé přírodní a antropogenní parametry, které mají vliv na stabilitu svahů, představují v kvantitativním hodnocení sesuvného hazardu důležité vstupní proměnné. Výběr vstupních parametrů může být pro každé sledované území rozdílný a závisí ve velké míře na individuálním posouzení podmínek a odborné zkušenosti řešitele. Velmi důležitým faktorem při hodnocení náchylnosti k sesouvání a sesuvného rizika je nejen správný výběr a nastavení hodnotící metody, neboť každá metoda v sobě skrývá výhody a nevýhody pramenící z jejího principu, ale také při jejím použití je třeba správně pochopit a tím i odhalit případná úskalí aplikace příslušné metody v jednotlivém případě.

Nejvýznamnějšími vstupními parametry jsou: litologická stavba území, sklon svahu, nadmořská výška (DMR – digitální model reliéfu), využití krajiny a vzdálenost od vodního toku.

Litologická stavba určuje nejen charakter svahových deformací (pomalé, středně rychlé, rychlé), ale i rozsah postiženého území. Např. sesuvné pohyby, které se vyznačují střední rychlostí pohybu, umožňují včas reagovat; oproti např. skalnímu řícení, což naopak představuje proces tak rychlý, že lze těžko zabránit škodám.

Sklon svahu má podstatný vliv na vznik svahových deformací, neboť se vzrůstajícím sklonem roste i gravitační síla působící v horninovém prostředí a svah přechází do nerovnovážného stavu, jehož výsledkem jsou morfologické změny.

Digitální model reliéfu zahrnuje kromě nadmořské výšky, také fakt, že se vzrůstající nadmořskou výškou vzrůstá i úhrn atmosférických srážek. Jednak ve formě různých druhů spadlých srážek (deště, sněhu, krup), tak i později během tání způsobuje vsakování rozmrzlé vody do nezmrzlého prostředí a stává se tak spouštěcím faktorem pro vznik svahových deformací. Srážky obecně jsou nejčastějším spouštěcím mechanismem pro vznik svahových deformací ve střední Evropě.

Využití krajiny přispívá svým vlivem ke zvýšení náchylnosti k sesouvání a sesuvného hazardu. Antropogenní činností – např. při realizaci liniových staveb vznikají zářezy a dochází k odlehčení paty svahů; při zastavění území k omezení možnosti vsaku vody; při odlesnění území dochází k porušení rovnováhy v horninovém prostředí apod.

6.3. Implementace do GIS

Prostředí ArcGIS představuje vektorově – rastrový geografický informační systém vhodný na digitální zpracování obrázků (image processing). ArcGIS je používán na přípravu, zpracování a analýzu geografických dat, včetně vizualizace výsledků. To znamená, že data se dají do systému importovat, digitalizovat, konvertovat, editovat a zpracovat množstvím analytických nástrojů, reprezentovaných více jak 300 funkcemi. Každý vstupní parametr musí být před vstupem do ArcGIS kvantifikovaný a prostorově vyjádřený formou příslušné parametrické mapy. Každá parametrická mapa představuje určitý systém, kterého složky tvoří jednotlivé kvantifikované třídy (kategorie) parametru. Příprava parametrických map spočívá zejména ve skenování, georeferencování, digitalizaci (vektORIZACI) a následné konverzi do rastrové formy, v případě, že vstupní data neexistují v digitální formě. V předkládané metodice byla použita digitální data od různých poskytovatelů. Všechny procesy zpracování dat probíhají výhradně v prostředí ArcGIS.

Alternativně lze použít další produkty, které využívají geografických informačních systémů, např. volně dostupného prostředí GRASS GIS, který používá podobnou technologii při zpracování dat. QGIS (do verze 2.0 označovaný také jako Quantum GIS) je volně dostupný a multiplatformní geografický informační systém (GIS). QGIS je psán v jazyku C++, grafické uživatelské rozhraní je postaveno na knihovně Qt. Zásuvné moduly je možno vytvářet v C++ nebo Pythonu. Kromě desktopové a serverové verze je připravována také mobilní aplikace pro Android (v roce 2016 označovaná jako beta). QGIS umožňuje zejména prohlížení, tvorbu a editaci rastrových a vektorových geodat, zpracování GPS dat a tvorbu mapových výstupů. Funkčnost rozšiřují zásuvné moduly. Z pohledu analýz geografických dat je významný modul

zpřístupňující funkce GRASS GIS – QGIS tak může sloužit jako jeho nadstavba.

6.4. Statistická analýza

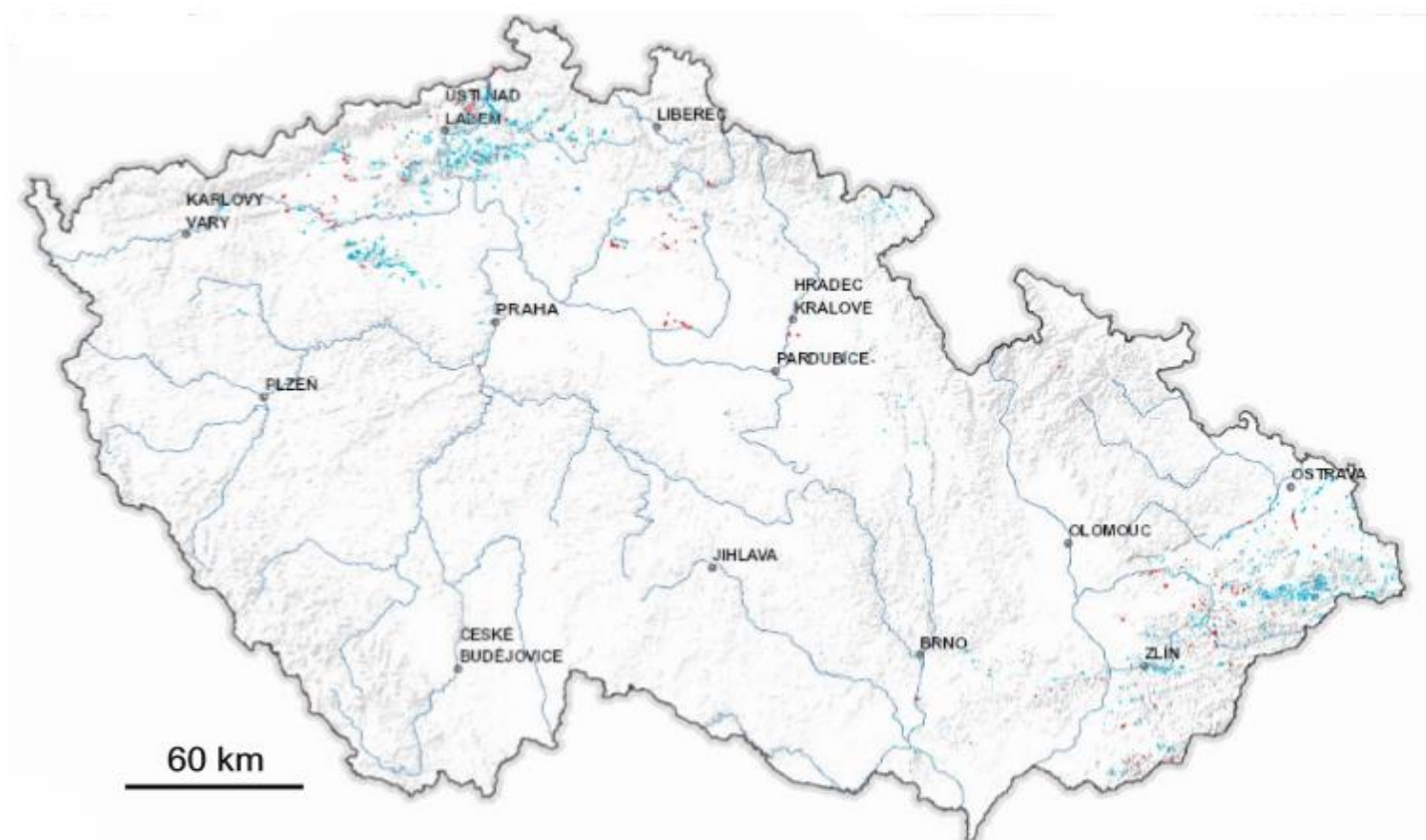
Samotná statistická analýza spočívá ve vzájemném porovnání parametrických map s mapou svahových nestabilit v prostředí GIS na základě exaktních statistických metod., Mapa svahových nestabilit je získána z Registru svahových nestabilit ČGS, který by měl být v případě potřeby aktualizován. Výsledkem analýzy, je klasifikace souboru vstupních parametrů podle stupně sesuvného hazardu, na základě intenzity výskytu hodnocených proměnných. Statistický přístup se všeobecně používá pro odhad pravděpodobnosti sesuvného rizika při středních měřítkách 1 : 10 000 až 1 : 50 000. V těchto měřítkách jsou dobře zmapované výskyty svahových nestabilit, které existovaly v minulosti.

6.5. Sestavení prognózní mapy

Konstrukce finální prognózní mapy představuje závěrečný krok celého metodického postupu. Způsob rozdělení a konečný počet zón (rajónů) v mapě představuje zodpovědný proces, který ve velké míře závisí na individuálním přístupu řešitele a použitém postupu. V předkládané metodice je použita pěti stupňová klasifikace, která vyčleňuje území na oblasti s velmi nízkým, nízkým, středním, vysokým a velmi vysokým stupněm sesuvného hazardu.

7. Prostředí, ve kterém je metodika platná

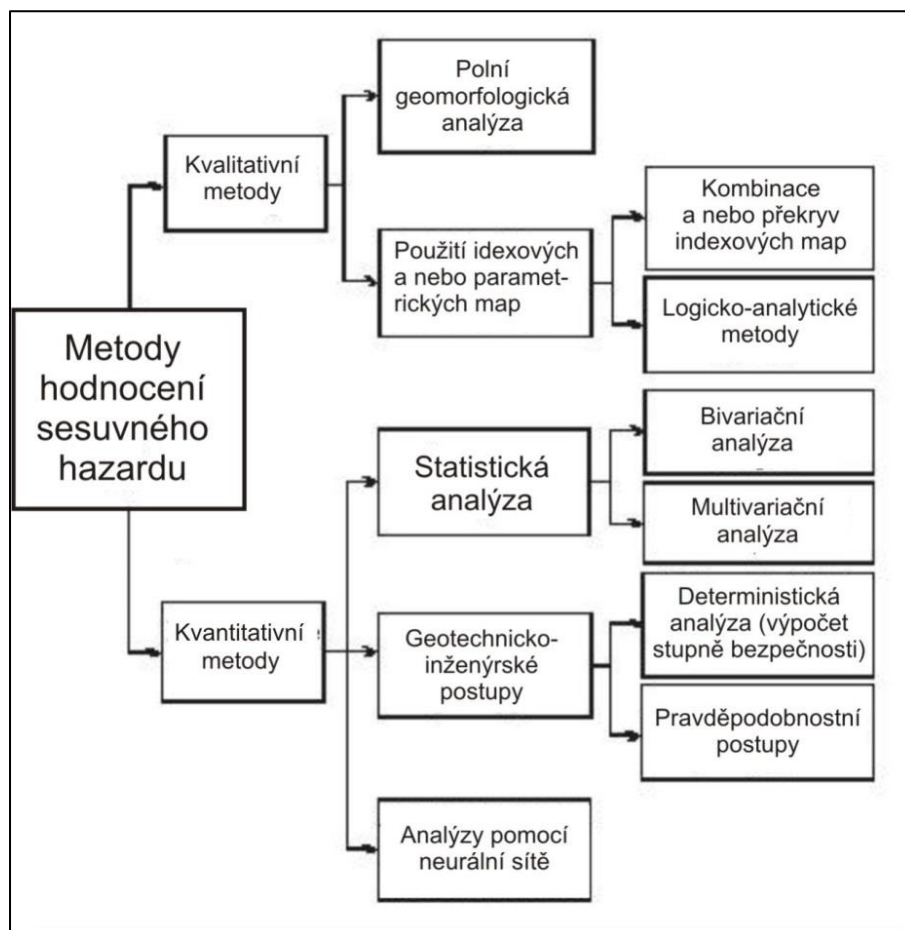
Metodika je platná pro území České republiky a vychází z dat, která jsou na území České republiky dostupná. Obecně lze konstatovat, že metodika je platná pro území s dostatečným výskytem svahových deformací tak, aby bylo možné jejich statistické zpracování. Předkládaná metodika pracuje s plošnými svahovými nestabilitami, tj. objekty u nichž je jeden z rozměrů větší než 50 m (délka, šířka). Přehled o počtu, velikosti a plošné distribuci svahových nestabilit obsahuje Registr svahových nestabilit České geologické služby (náhled na portál registru obr. 1), který je průběžně aktualizován. Objekty o velikosti menší než 50 m jsou v databázi Registru svahových nestabilit České geologické služby evidovány jako bodové.



Obr. 1: Mapa výskytu svahových nestabilit v ČR
(dostupné na: http://mapy.geology.cz/svahove_nestability/, 2017).

8. Přehled existujících metod hodnocení sesuvného hazardu

Metody hodnocení sesuvného hazardu lze obecně rozdělit na kvalitativní a kvantitativní. V současnosti se využívají hlavně statistické metody, ze kterých nejvýznamnější jsou metody bivariační a multivariační. Moderní postupy řešení hazardů a rizik využívají výlučně prostředí GIS (BEDNARIK, 2007). Na obr. 2 je zobrazena klasifikace doposud vypracovaných metod.



Obr. 2: Klasifikace metod hodnocení sesuvného hazardu (ALEOTTI, CHOWDHURY, 1999).

8.1 Kvantitativní metody

Kvantitativní analýza používá číselné hodnoty (spíše než popisné škály uplatňované v kvalitativních a semikvantitativních analýzách) pro následky i pro jejich pravděpodobnosti, které stanoví pomocí údajů získaných z různých zdrojů. Kvalita analýzy závisí na přesnosti a úplnosti číselných hodnot a platnosti použitých modelů. (PAUDITŠ, 2005).

Často bývá upřednostňován kvantitativní přístup oproti kvalitativnímu a bývá argumentováno tím, že kvalitativní hodnocení dopadů je prováděno s vysokou mírou subjektivity, kdy výsledná hodnota závisí z velké části na osobním názoru hodnotitele. Pro stanovení kvantitativních hodnot se využívají různé metodiky a nástroje (simulace, analýza historických dat a statistik), které však v sobě mohou zahrnovat také jistou míru subjektivity. K dispozici je celá řada nástrojů pro výpočty odhadovaných hodnot, nicméně žádná předpověď

rizik, byť i matematicky podložená, nemůže být stoprocentní. Kvantitativní přístupy využívající finanční škály jsou velmi vhodné, pokud je po provedené analýze nutné najít zdroje na eliminaci zjištěných rizik. Je mnohem snazší obhájit požadavky na finanční prostředky, pokud je možno využít náklady na snížení rizik proti rizikům vyjádřeným finanční ztrátou.

Mezi nepoužívanější kvantitativní metody patří bezpochyby statistické analýzy. Základní výhodou statistických analýz je, že výzkumník může potvrdit důležitost každého vstupního parametru a rozhodnout o finálních mapových vstupech interaktivním způsobem. Tyto operace značně ulehčilo využití GIS a do velké míry vysvětluje, proč se v současnosti statistické postupy stávají čím dál více populárnější (ALEOTTI, CHOWDHURY, 1999). Statistické metody jsou založené na exaktním porovnání plošné distribuce existujících svahových nestabilit v určité oblasti s prostorovou distribucí různých parametrů, představujících nezávislé vstupní proměnné. Výsledkem statistického hodnocení území je formou mapy vyjádřené prostorové rozmístění rajónů – zón, které jsou výsledkem syntézy tříd v rámci vstupních parametrických map se stejným stupněm náchylnosti území na tvorbu svahových nestabilit. Ověřenými metodami ze skupiny statistických analýz jsou bivariační a multivariační analýza.

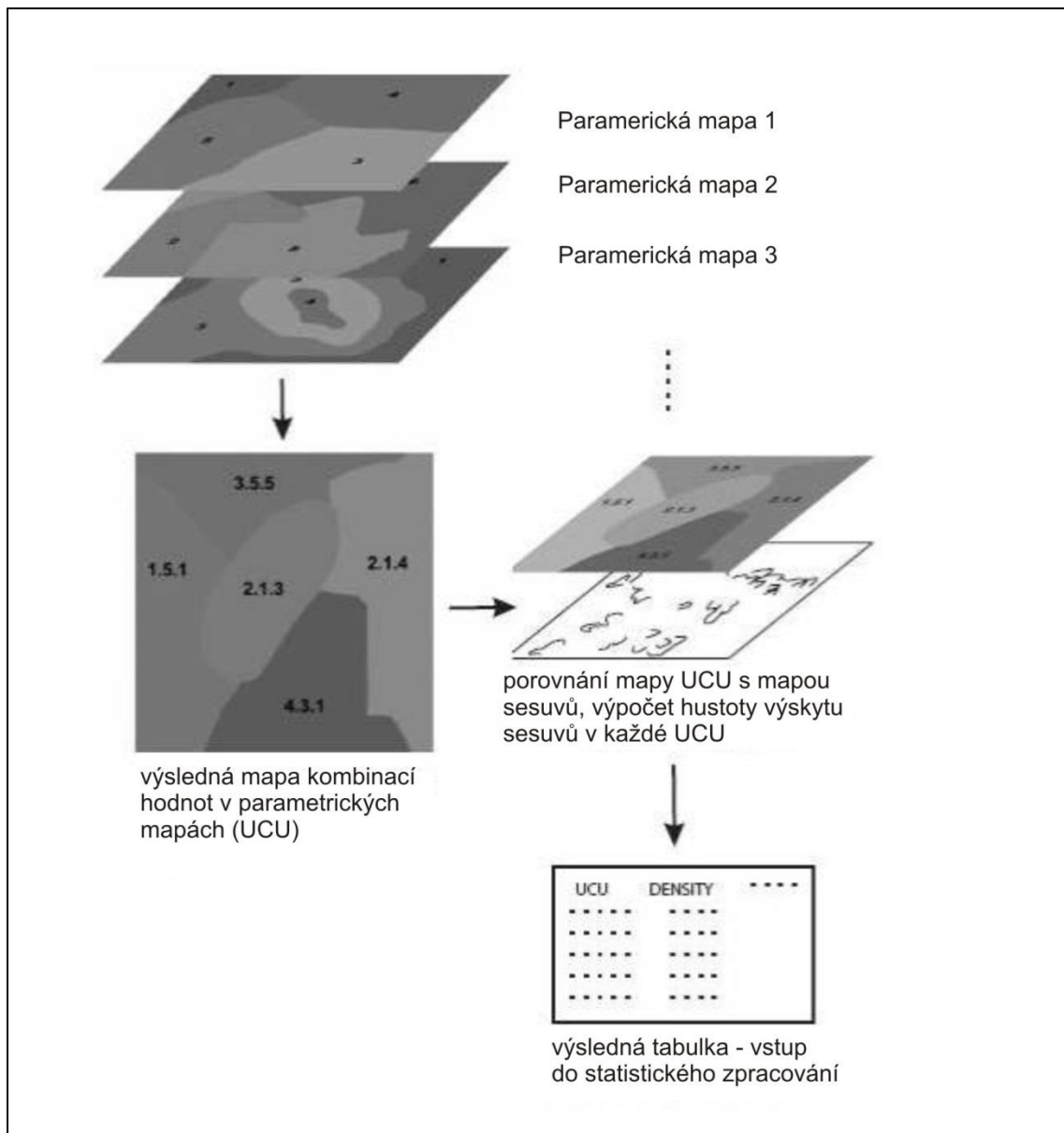
8.2 Podmínková analýza

Multivariační statistická analýza je založená na kombinaci všech vstupních parametrických map současně (litologie, sklonitost území, nadmořské výšky, svahové nestability), s následným rozšířením informací na území, kde nebyly registrované žádné ze svahových pohybů (obr. 3). Při multivariační statistické analýze nevstupuje do hodnocení geohazardu proces vážení a proto jí při sestavování metodiky byla dána přednost před bivariační statistickou metodou.

Výhoda multivariační podmínkové analýzy vyplývá už z jejího samotného charakteru, vycházejícího z principu simultánního hodnocení všech vstupních parametrů. Metoda pracuje primárně s větším množstvím dat a také nepřímo umožňuje zohlednit vzájemné interakce mezi vstupními parametry. Metoda multivariační analýzy se také ukázala ve výsledku jako vhodnější než bivariační analýza, protože mapa získaná multivariační analýzou rozdělila území poměrně detailně a hranice mezi jednotlivými rajóny (zónami) byly stanovené s větší citlivostí na lokální změny podmínek v modelovém území (TORNYAI, 2012).

Neposlední výhodou multivariační analýzy je nižší technická a časová náročnost operací s výpočetní technikou. Výjimkou je závěrečná reklasifikace do zón sesuvného hazardu. Náročnost úkonů závisí na velikosti zpracovávaného území, která je přímo úměrná počtu buněk na tomto území, což podmiňuje počet záznamů v tabulce databáze.

V případě bivariační analýzy je největším problémem samotné stanovení vah jednotlivých parametrů. V procesu hodnocení je tedy nevyhnutelný subjektivní zásah do automatiky procesu a korekce vypočítané hodnoty váhy. Tento zásah není potřebným v případě multivariační metody, kde se s váhami neuvažuje, a tedy nemůže dojít k převážení relevantnějšího parametru reálně méně relevantním. Výhodou této metody je, že výzkumník může potvrdit důležitost každého parametru a rozhodnout o finálních mapových vstupech interaktivním způsobem, avšak to si vyžaduje značnou praxi a znalost řešitele a to nejen v oblasti inženýrské geologie.



Obř. 3: Princip multivariační statistické analýzy (PAUDITŠ, 2005).

V případě podmínkové analýzy (CLERICI, 2002) získáme vzájemnou kombinací vstupních parametrických map tabulku, obsahující všechny kombinace kategorií ve všech vstupních mapách, které jsou ve vzájemné superpozici. Tyto kombinace tvoří ve výsledné mapě nové areálové prvky, představující kvazihomogenní celky (UCU – unique conditional units). Např. když máme nad sebou v mapě sklonů svahů kategorii 7 (17 - 20°), v litologické mapě kategorii 6 (flyš – jílovce v převaze nad pískovci) a v mapě aktuálního využití krajiny třídu 5 (lesy), výsledný kvazihomogenní celek bude tvořit kombinace 7-6-5 a podobně (PAUDITŠ, 2005).

Před vstupem do multivariační analýzy není nutná druhotná reklasifikace, a jak už bylo uvedeno, ani žádné vážení parametru. Výsledné kombinace, ve kterých se nacházejí svahové nestability (hodnota 1, true v mapě sesuvů) se seřadí na základě vypočítané intenzity výskytu – poměr počtu buněk UCU se svahovými nestabilitami k celkové ploše UCU (výsledek

uspořádaný vzestupně uvádí kombinace, které jsou z hlediska sesouvaní nejnepříznivější. Výsledná mapa vznikne rozdělením všech kombinací do relevantního počtu tříd (3 nebo 5), vyjadřujících stupeň náchylnosti nebo hazardu (CLERICI, 2002; BEDNARIK et al., 2005).

Příprava vstupních údajů

Při zpracování metodiky byly využity oba modely používané v prostředí ArcGIS, vektorový a rastrový.

Vektorová reprezentace konceptuálních modelů reality vychází z objektového, polohově explicitního modelu prostoru. Objekt reality je reprezentovaný pomocí geometrických typů (prvků) složených z bodů, linií a ploch. Vektorové údaje jsou v paměti počítače uloženy pomocí souřadnic bodů a topologických vazeb (HOFIERKA, 2003). Vektorovou formou byly zpracované jednotlivé vstupní parametrické mapy, které byly následně konvertovány do rastrové formy.

Rastrový údajový model představuje pravidelnou mozaiku, mřížku hodnot atributů prostoru krajiny. Při konverzi rastrové formy do vektorové je nezbytné přesně definovat geometrii gridu (rastru). V praxi to znamená, že každá parametrická mapa, vstupující do analýz, musí mít stejný počet buněk se stejnou velikostí. V opačném případě je výsledek statistických analýz nevhodný a nepoužitelný. Velikost buňky se volí na základě měřítka.

Rastrový model představuje pravidelnou mozaiku, mřížku hodnot atributů prostoru krajiny. Používá se při modelování prvků krajiny vyjádřených pomocí fyzikálních polí a spojitých matematických funkcí. Časté je i použití v digitálních obrazech. Rastr má čtvercový nebo obdélníkový tvar, ale existuje i hexagonální a pravidelná trojúhelníková mřížka (HOFIERKA, 2003). V rámci celého procesu hodnocení sesuvného hazardu byl pro všechny prostorové operace použitý souřadnicový systém S – JTSK. Všechny podkladové mapy byly k dispozici v digitální formě. Konkrétně to byly digitálně vektorové mapy výškopisu, polohopisu, litologických jednotek a mapa svahových nestabilit. Základním požadavkem, kladeným na parametrickou mapu je její polohová přesnost, přičemž největším problémem je heterogenita různých zdrojů. Parametrické mapy jsou často odvozené z více zdrojů, které bývají v různých kartografických zobrazeních, dále z digitálních vektorových dat, ortofotomap, družicových snímků nebo z měření pomocí GPS. Polohová přesnost bývá různá a vyplývá z měřítka, způsobu a přesnosti snímání, jako i z dalších faktorů. Pro statistické analýzy je nevyhnutelná geograficky přesná a korektní vzájemná superpozice všech vstupních parametrických map (PAUDITŠ, 2005).

Při samotné konverzi vektorové formy do rastrové je nezbytné přesně definovat geometrii gridu (rastru). V praxi to znamená, že každá parametrická mapa, vstupující do analýz, musí mít stejný počet buněk se stejnou velikostí. V opačném případě výsledek statistických analýz je nevhodný a nepoužitelný. Velikost buňky se volí na základě měřítka, přičemž obecně platí, že pro střední a velká měřítka je dostačující velikost základní buňky 10 x 10 m. Při malých měřítkách se velikost buňky zvyšuje (25 x 25 m, 50 x 50 m atd.). Podle PAUDITŠE (2005) detailnější grid pro střední a velké měřítka nemá vyšší výpovědní hodnotu. V metodice je použit rastr čtvercového tvaru o velikosti základní buňky 10 x 10 m.

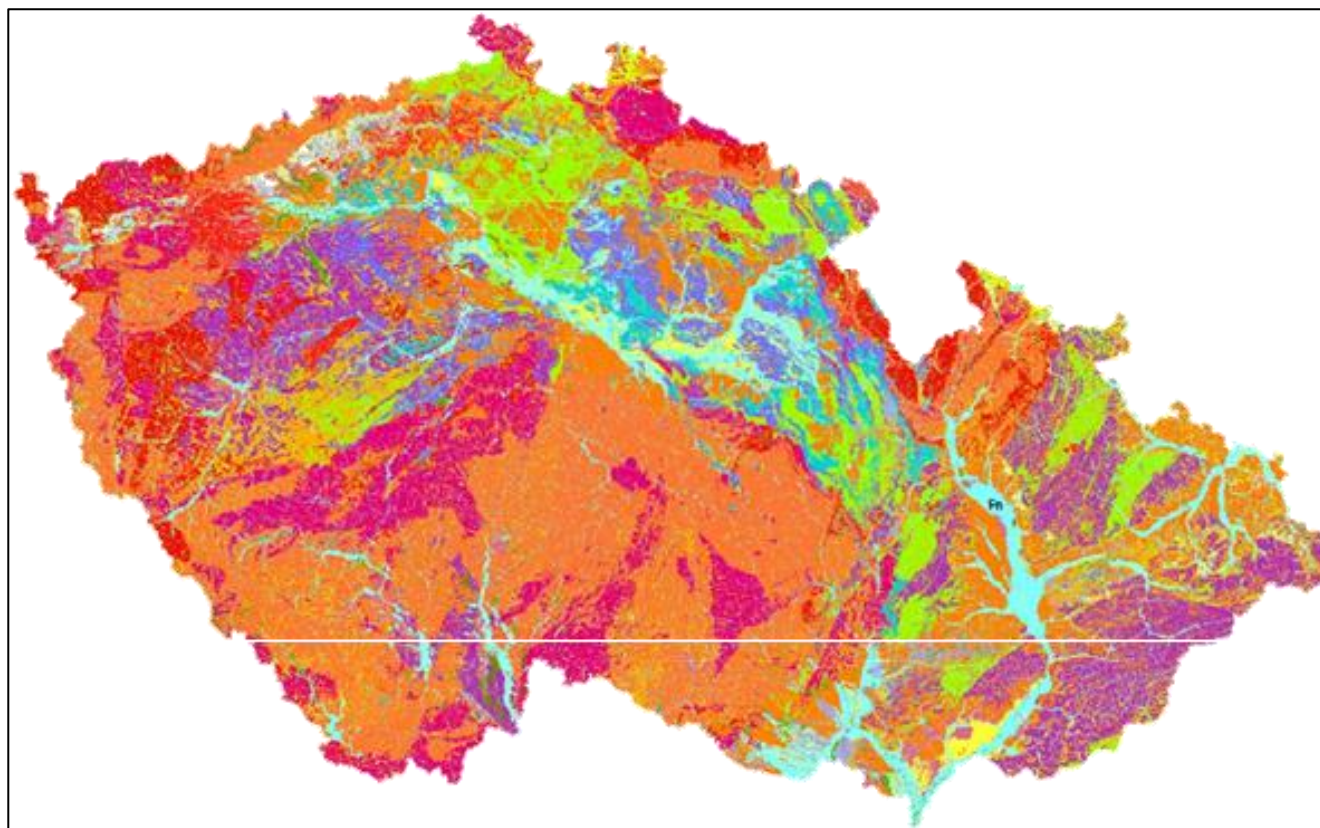
9. Vstupní parametry

Pro sestavení metodiky bylo vybráno šest nejdůležitějších vstupních parametrů, které určitým způsobem ovlivňují nestabilitu svahů. Každý z parametrů vstupuje do statistických analýz ve formě parametrické mapy. Hodnocenými parametry jsou: *geologické poměry*, morfometrické parametry reliéfu: *digitální model reliéfu*, *sklon svahů*, *orientace svahů*, *současná krajinná struktura a svahové nestability*.

Interpretace geologických poměrů území

Geologická stavba území je jedním z nejdůležitějších parametrů ovlivňujících vznik a vývoj svahových nestabilit. Parametrická mapa litologických poměrů území má většinou největší váhu v procesu určování vah jednotlivých parametrů. Fyzikálně - mechanické vlastnosti, závislé na litologickém složení horninového prostředí jsou důležitým parametrem ovlivňujícím stabilitu svahů. Informace o litologii zájmových území poskytuje mapový server České geologické služby, který obsahuje kompletní informace o litologickém složení celého území České republiky v měřítku 1 : 50 000. V některých částech České republiky existují geologické mapy v měřítku 1 : 25 000, nicméně vzhledem k tomu, že při zpracování informací o litologickém složení zájmového území jsou informace z geologické mapy v měřítku 1 : 50 000 zjednodušovány, použití map v měřítku 1 : 25 000 není nezbytně nutné. Výhodou může být jejich novost a přesnější vedení hranic litologických celků avšak podkladovou vrstvu v měřítku 1 : 50 000 lze považovat bez výhrad za dostatečnou. Podkladem pro získání informace o geologické stavbě území regionu je digitální geologická mapa v měřítku 1 : 50 000, dostupná na: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace>. Digitální geologická mapa byla ve vektorovém tvaru a v souřadnicovém systému S-JTSK. Litologická stavba určuje nejen charakter svahových deformací (pomalé, středně rychlé, rychlé), ale i rozsah území postiženého území. Např. sesuvné pohyby, které se vyznačují střední rychlostí pohybu, dávají člověku možnost včas reagovat; oproti např. skalnímu říční, což představuje proces tak rychlý, že lze těžko zabránit škodám. Pro statistické zpracování problematiky sesuvného hazardu bylo nezbytně zredukovat původní množství litologických celků do menšího počtu tříd. Tento proces se označuje jako prvotní reklasifikace, jejímž cílem je zjednodušit původní mapu a zachovat při tom důležité informace, které se vztahují k sesuvnému hazardu. Při prvotní reklasifikaci geologické mapy je hlavním kritériem litologická podobnost hornin.

Pro zpracování metodiky byla použita inženýrsko-geologická rajonizace, která je dostupná na http://mapy.geology.cz/svahove_nestability/, (obr. 4). Rajóny jsou vymezeny na základě geneticko-litologické podobnosti, přičemž kritériem je shodnost výskytu a uspořádání určitých litologických typů hornin, vzniklých za stejných faciálních podmínek. V inženýrskogeologických mapách rajonizace v měřítku 1 : 50 000, které jsou sestavovány zejména pro územní plánování, jsou základní jednotkou rajóny. Horninové komplexy předkvartérního stáří vystupující k povrchu nebo jsou překryty kvartérními sedimenty o mocnosti do 1 m. Komplexy jsou členěny do 13 rajónů. U kvartérního pokryvu se vyčleňuje 10 rajónů. Výsledná vstupní parametrická mapa má při zpracování v rastrové formě velikost základní buňky 10 x 10 m.



Inženýrskogeologické rajony 1:50 000

RAJONY KVARTÉRNÍCH ZEMIN

Fn	Rajon náplavů nížinných toků včetně fluvioakustrinních sedimentů
Dk	Rajon deluviálních (svahových) kamenitých až blokovitých sedimentů
Ft	Rajon pleistocénních říčních sedimentů (terasy)
An	Rajon antropogenních uloženin
D	Rajon deluviálních (svahových) a deluviofluviálních (splachových) sedimentů
Or	Rajon organických zemín (min 5 % organických příměsí)
P	Rajon náplavových kuželů
Es	Rajon spraší a sprašových hlín
Ep	Rajon eolických (navátých) písků
Gg	Rajon glacienních (glacilakustrinních, glaci-fluviálních) sedimentů

RAJONY PPŘEDKVARTÉRNÍCH HORNIN

Ng	Rajon štěrkovitých sedimentů
Mv	Rajon vysoko metamorfovaných (izotropních) hornin
Nj	Rajon jílovito-prachovitých sedimentů
Mn	Rajon nízko metamorfovaných hornin
Vk	Rajon vulkanoklastických hornin
Vl	Rajon kompaktních pevných vulkanických hornin
Sj	Rajon jílovcových a prachovcových hornin
Sf	Rajon flyšoidních (výrazně anizotropních) hornin
Ih	Rajon magmatických intruzivních hornin
Np	Rajon písčítých sedimentů
Sv	Rajon vápencových a dolomitických hornin
Ss	Rajon pískovcových a slepencových hornin
Nk	Rajon střídajících se jemnozrnných, písčítých a štěrkovitých sedimentů

Obr. 4: Náhled mapy inženýrsko-geologického rajónování v měříku 1 : 50 000 s příslušnou legendou.

Morfometrické parametry reliéfu

Reliéf reprezentuje kontaktní plochu mezi atmosférou a hydrosférou na jedné straně a litosférou, resp. pedosférou na straně druhé. Tvar reliéfu je výslednicí současného působení endogenních sil, exogenních sil a antropogenní činnosti. Z uvedených důvodů je nezbytné reliéf v prostředí ArcGIS co nejpřesněji vymodelovat a zjistit tak jeho morfometrické charakteristiky, které reprezentují geometrické vlastnosti reliéfu a ovlivňují procesy v krajině, včetně

geodynamických jevů (HOFIERKA, 2003), KRCHO (1990, 1999) definuje reliéf jako spojitě skalární pole nadmořských výšek, které je možno analyzovat metodickým aparátem diferenciální geometrie. Digitální model reliéfu zahrnuje kromě nadmořské výšky, také fakt, že se vzrůstající nadmořskou výškou vzrůstá i úhrn atmosférických srážek. Jednak ve formě různých druhů spadlých srážek (deště, sněhu, krup), tak i později během tání způsobuje vsakování rozmrzlé vody do nezmrzlého prostředí a stává se tak spouštěcím faktorem pro vznik svahových deformací. Srážky obecně jsou nejčastějším spouštěcím mechanismem pro vznik svahových deformací ve střední Evropě.

V metodice jsou hodnocené a analyzované následující morfometrické parametry:

- digitální model reliéfu (hypsografické stupně)
- sklonitost svahů
- orientace svahů vůči světovým stranám

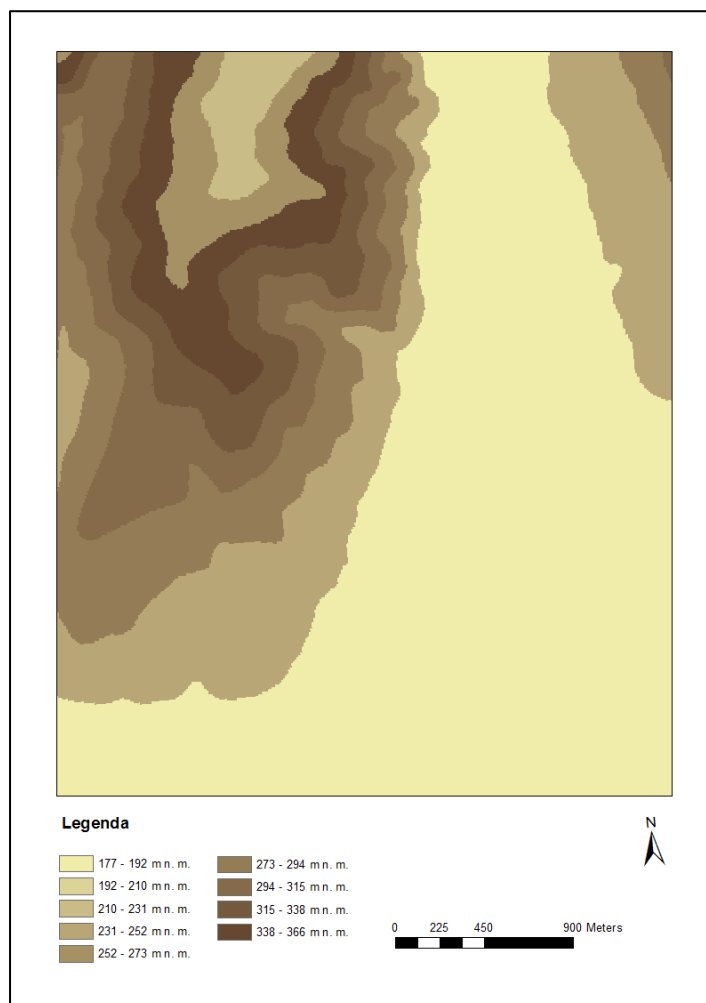
Digitální model reliéfu

Uvedené morfometrické parametry reliéfu jsou odvozené z digitálního modelu reliéfu (DMR) a představují jeho druhé derivace. DMR představuje soubor čísel vyjadřující jejich prostorovou distribuci hodnot nadmořských výšek, obvykle formou dvojrozměrné matice. Každé číslo v souboru reprezentuje určitou plochu (pixel) formou diskrétní prezentace reliéfu. Takto připravený DMR je dostatečně spojitý a vhodný pro odvození výše uvedených morfometrických parametrů reliéfu pomocí analytických rastrových nástrojů GIS (HOFIERKA, 2003).

Zdrojem vstupních údajů pro sestavení a výpočet DMR byli vrstevnice (ve formě linií) z topografických map v měřítku 1 : 10 000.

DMR musí splňovat kritéria přirozeného odtoku vody z území – musí tedy jít o hydrologicky korektní DMR (CEBECAUER et al., 2000, ŠÚRI et al., 2003). DMR pro modelové území byl vytvořený v prostředí ArcGIS pomocí modulu „Topo to Raster“. Tento modul představuje interpolační metodu pro sestavení hydrologicky korektního DMR, založenou na programu ANUDEM (použitá verze 4.6.3) vytvořeného Hutchinsonem (1993). Výsledný DMR (obr. 5) představuje matici spojitých hodnot nadmořských výšek s pohyblivou desetinnou čárkou (floating point). Pro zpracování metodiky byly využity informace základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®), který představuje komplexní digitální geografický model území České republiky (ČR), který je spravován Zeměměřickým úřadem ve veřejném zájmu. ZABAGED® je využíván jako základní informační vrstva v územně orientovaných informačních a řídicích systémech veřejné správy ČR a je také hlavním zdrojem informací pro tvorbu základních map ČR měřítek 1:10 000 až 1:100 000.

DMR má při zpracování v rastrové formě velikost základní buňky 10 x 10 m. V předkládané metodice je použito rozdělení nadmořských výšek, kdy celkový rozdíl nadmořských výšek je na základě zkušeností autorů rozdělen do 9 tříd o stejné velikosti intervalu pomocí kvantilů, což jsou, ve smyslu statistických výpočtů, čísla (hodnoty), která dělí soubor seřazených hodnot na několik zhruba stejně velkých částí. V programu ArcGis byl použit nástroj „Reclassify“ ze skupiny nástrojů „Spatial Analyst“.



Obr. 5: Digitální model reliéfu – výřez reklasifikované parametrické mapy.

Sklon svahů

Obecně lze konstatovat, že velikost sklonu svahů je jeden z nejdůležitějších morfometrických parametrů. V digitální formě představuje rastr sklonu svahů matici hodnot velikostí gradientů skalárního pole nadmořských výšek, odvozenou z digitálního modelu reliéfu (HOFIERKA, 2003). Velikost sklonu svahu se uvádí ve stupních (interval 0 – 90°) nebo v procentech, případně v promile. Sklon svahu významně ovlivňuje v kombinaci s dalšími parametry stabilitní poměry svahu. Pro zpracování metodiky byly využity informace základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®), který představuje komplexní digitální geografický model území České republiky (ČR), který je spravován Zeměměřickým úřadem ve veřejném zájmu. ZABAGED® je využíván jako základní informační vrstva v územně orientovaných informačních a řídicích systémech veřejné správy ČR a také je hlavním zdrojem informací pro tvorbu základních map ČR měřítek 1 : 10 000 až 1 : 100 000.

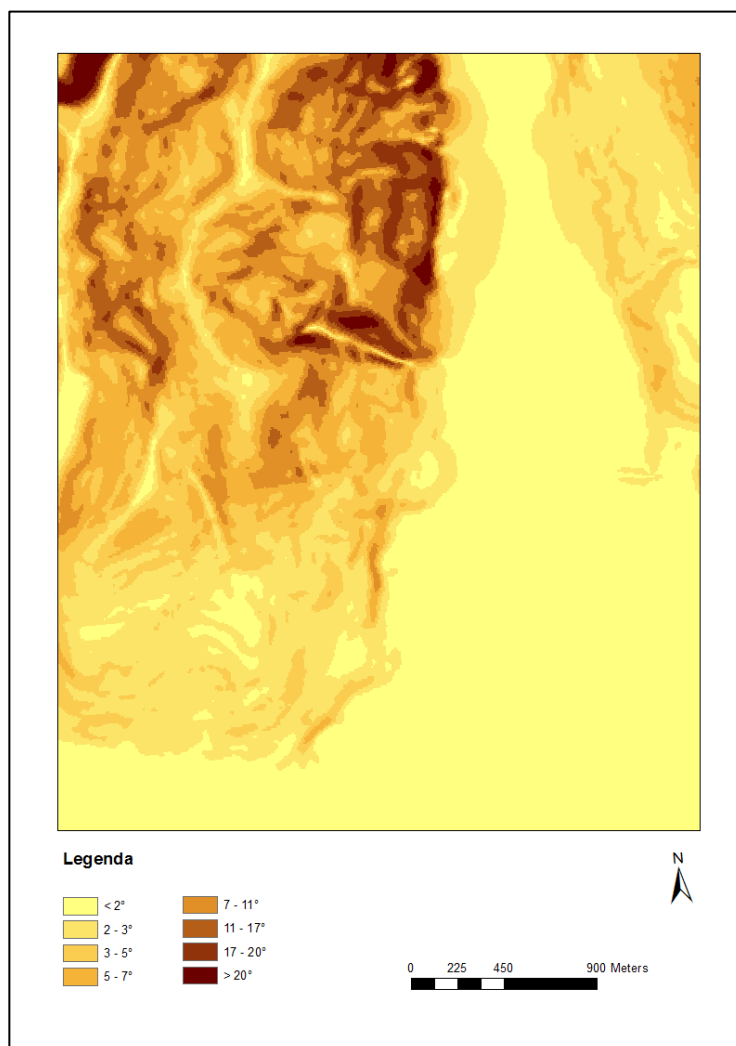
Z DMR modelového území byl vypočítán sklon svahů ve stupních (interval po 1°) o velikosti základní buňky 10 x 10 m. Výsledný grid je potřebné reklasifikovat pro účely multivariační analýzy do menšího počtu kategorií. Postup při reklasifikaci sklonitosti svahů

závisí především na celkovém charakteru a morfologické členitosti studovaného území. Neexistuje jednotná klasifikace sklonitosti svahů a reklasifikace závisí na studované oblasti. Aplikovaná byla klasifikace sklonitosti svahů podle HRAŠNY (1980, in MATULA et al., 1983), která se obvykle používá i v inženýrskogeologickém mapování (tab. 1).

Kategorie	Typ	Sklon [%]	Sklon [°]
I. Ploché (s malým sklonem)	velmi ploché	<3	<2(1)
	(střední) ploché	3-5	2-3(2)
	poměrně ploché	5-9	3-5(3)
II. Mírné (se středním sklonem)	velmi mírné	9-12	5-7(4)
	(střední) mírné	12-20	7-11(5)
	poměrně mírné	20-30	11-17(6)
III. Strmé (s velkým sklonem)	mírně strmé	30-36	17-20 (7)
	(středně) strmé	36-60	20-31 (8)
	velmi strmé	> 60	>31(9)

Tab. 1: Klasifikace sklonitosti svahů podle HRAŠNY (1980, in MATULA et al., 1983).

Sklony svahů jsou rozdělené do 9 kategorií. V programu ArcGis byl použit nástroj „Slope“ ze skupiny nástrojů „Spatial Analyst“. Příklad reklasifikované mapy je uveden na obr .6.



Obr. 6: Sklony svahů – výřez reklasifikované parametrické mapy.

Orientace svahů vůči světovým stranám

Orientace svahů vůči světovým stranám bývá často zohledňovaná v souvislosti s povětrnostními a meteorologickými podmínkami na zájmovém území. Reprezentuje např. převládající směr větru, který spolu s úhrnem slunečního záření výrazně ovlivňuje např. evapotranspiraci, stav půdní vlhkosti apod., což má vliv stabilitu svahu (PAUDITŠ, 2005). Pro zpracování metodiky byly využity informace základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®), který představuje komplexní digitální geografický model území České republiky (ČR), jež je spravován Zeměměřickým úřadem ve veřejném zájmu. ZABAGED® je využíván jako základní informační vrstva v územně orientovaných informačních a řídicích systémech veřejné správy ČR a je také hlavním zdrojem informací pro tvorbu základních map ČR měřítek 1 : 10 000 až 1 : 100 000.

Parametrická mapa orientace svahů vůči světovým stranám představuje spojitě datové pole udávající hodnoty úhlu od určité světové strany (nejčastěji od severu, ve směru otáčení hodinových ručiček). Výsledná mapa je ve stupních. Buňky reklasifikované mapy mají s velikost 10 x 10 m. Orientace svahů je reklasifikovaná do 9 kategorií. V programu ArcGis byl použit

Metodika určování sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami

Projekt TA04030824, TAČR

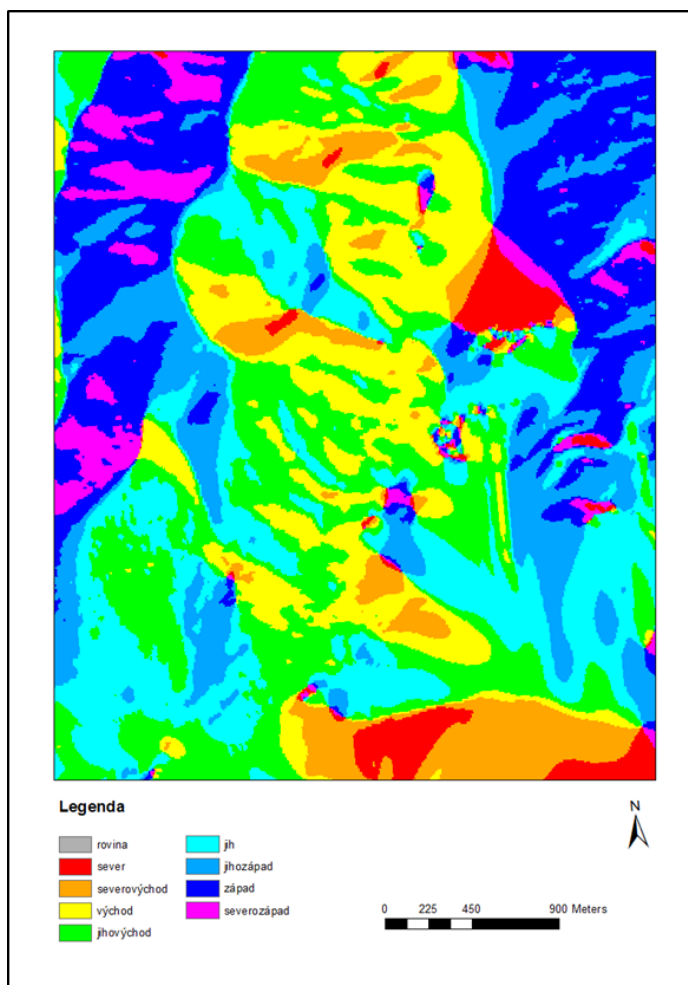
„Výzkum a hodnocení rizik svahových nestabilit v liniích hlavních plánovaných dopravních koridorů“

nástroj „Aspect“ ze skupiny nástrojů „Spatial Analyst“.

Kategorie	Intervaly ve stupních [°]
1 (plochý)	(-1)
2 (S)	(0-22.5), (337.5-360)
3 (SV)	(22.5-67.5)
4 (V)	(67.5-112.5)
5 (JV)	(112.5-157.5)
6 (J)	(157.5-202.5)
7 (JZ)	(202.5-247.5)
8 (Z)	(247.5-292.5)
9 (SZ)	(292.5-337.5)

Tab. 2: Kategorie orientace svahů vůči světovým stranám.

Kategorie 1 představuje roviny bez vztahu ke světovým stranám (tab. 2). V našich podmínkách nemá tento parametr příliš velkou důležitost při hodnocení sesuvného hazardu. Význam parametru se mění od geografické polohy modelového území. Příklad reklasifikované mapy je uveden na obr. 7.



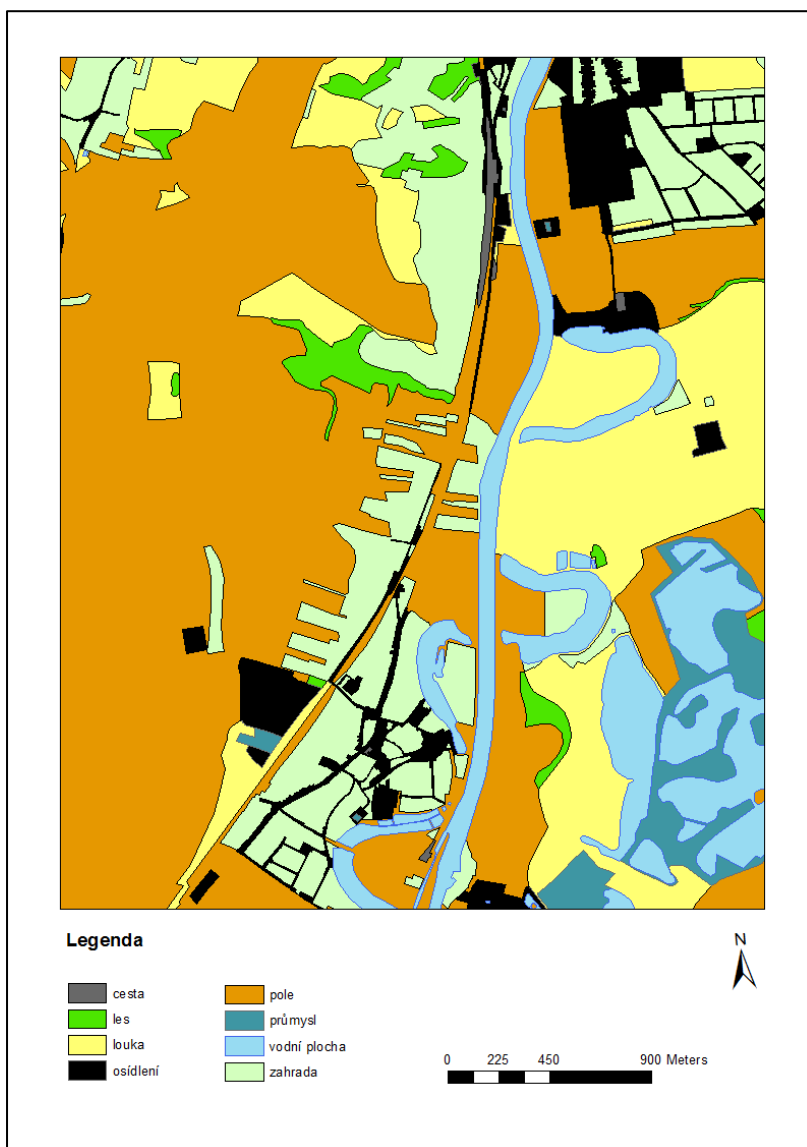
Obr. 7: Orientace vůči světovým stranám – výřez reklasifikované parametrické mapy.

Současná krajinná struktura

K zohlednění antropogenního vlivu slouží mapa využití krajiny. Krajinná struktura informuje především o vegetačním pokryvu, jehož nedostatek nepřímo ovlivňuje vznik a vývoj svahových deformací. Tento parametr je velmi dynamický, podléhá relativně rychle změnám v čase, a proto je nezbytné používat co nejaktuálnější podklady při jeho zpracování. Jednoznačně nejspolehlivějším zdrojem jsou aktuální letecké a družicové snímky, resp. ortofotomapy modelového území. Vegetační pokrývka ovlivňuje stabilitu svahů hlavně zadržováním (retencí) srážek, rozdílnou schopností výparu a také rozložením a hloubkovým dosahem kořenového systému. Vegetace má významný vliv na odolnost půdy vůči erozi (PAUDITŠ, 2005). V případě velmi členitého území se eroze negativně projevuje souvislostí s odstraňováním vegetace a odlesňováním svahů, což napomáhá k aktivizaci svahových nestabilit.

Jako vstupní vrstva do předmětné metodiky byly využity informace základní báze geografických dat České republiky ZABAGED, která představuje komplexní digitální geografický model území České republiky (ČR), který je spravován Zeměměřickým úřadem ve veřejném zájmu. ZABAGED® je využíván jako základní informační vrstva v územně orientovaných informačních a řídicích systémech veřejné správy ČR a také je hlavním zdrojem informací pro tvorbu základních map ČR měřítek 1 : 10 000 až 1 : 100 000.

Pro účely metodiky byly vyčleněny následující prvky současné krajinné struktury - zahrady, cesty, les, louky, osídlení, pole, průmysl a vodní plochy. Následně byla vektorová forma konvertovaná do rastrové parametrické mapy s velikostí základní buňky 10 x 10 m. Po reklasifikaci do výše uvedených tříd byl v programu ArcGIS použit nástroj „Feature to raster“ ze skupiny nástrojů „Conversion tools“. Příklad reklasifikované mapy je uveden na obr. 8.



Obr. 8: Současná krajinná struktura – výřez reklasifikované parametrické mapy.

Interpretace svahových nestabilit

Mapa svahových nestabilit byla poslední mapou, která vstupovala do statistického hodnocení, ať už při bivariační nebo multivariační analýze. Mapa svahových nestabilit představuje binární závislou (dichotomickou) proměnnou, se kterou se v procesu statistické analýzy při multivariaci porovnávají všechny vstupní parametrické mapy současně. Binární

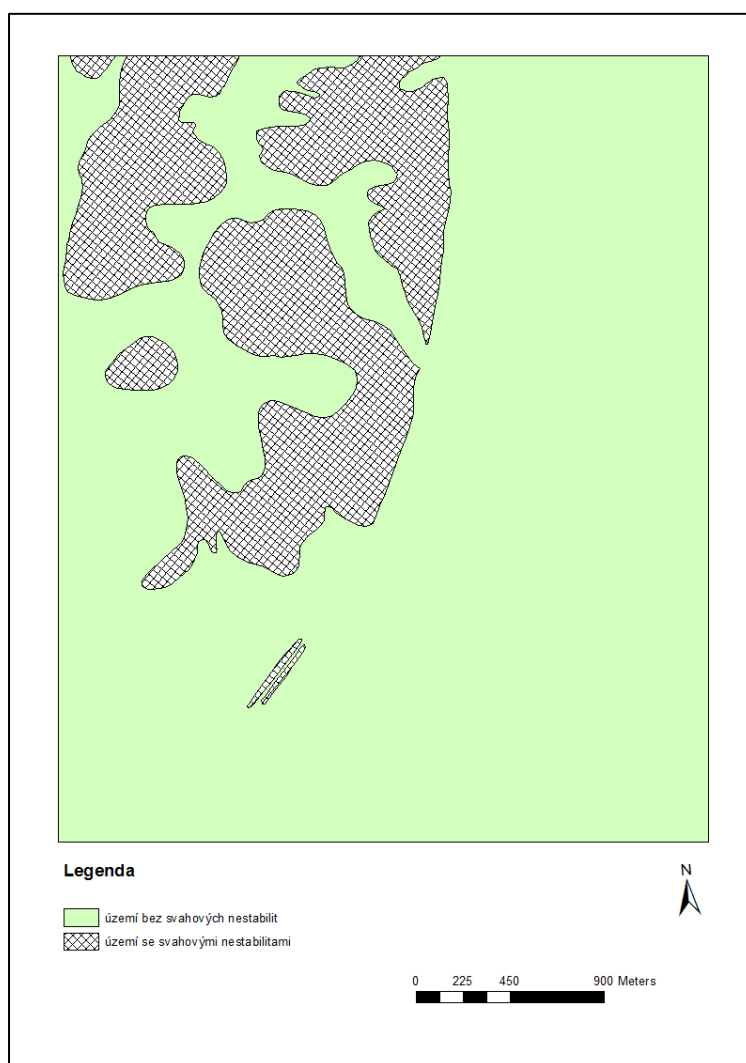
Metodika určování sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami

Projekt TA04030824, TAČR

„Výzkum a hodnocení rizik svahových nestabilit v liniích hlavních plánovaných dopravních koridorů“

rastrová mapa svahových nestabilit obsahuje jen hodnoty 0 a 1 (False / True), kde hodnota 1 představuje existenci svahové nestability v základní buňce a hodnota 0 jeho absenci.

Vstupní mapou byla vektorová mapa registrace svahových nestabilit, kde byly jednotlivé svahové nestability vykresleny pomocí polygonů. Výsledkem byla rastrová parametrická mapa s velikostí základní buňky 10 x 10 m. Pro potřeby modelování bylo zjednodušeno členění svahových nestabilit uvedené v databázi svahových nestabilit České geologické služby pouze na plošný rozsah svahových nestabilit. Doplňující informace o vnitřním členění svahové nestability a její aktivitě nejsou do procesu hodnocení sesuvného hazardu zahrnuty. Výsledná vektorová mapa byla převedena na rastrovou. V programu ArcGis byl použit nástroj „Feature to raster“ ze skupiny nástrojů „Conversion tools“. Příklad reklasifikované mapy je uveden na obr. 9.



Obr. 9: Svahové nestability – výřez reklasifikované parametrické mapy.

10. Postup vytvoření prognózní mapy

Pro vytvoření prognózní mapy je nutná kombinace všech reklasifikovaných vstupních map bez mapy svahových nestabilit. V programu ArcGIS se použitím nástroje „combine“ ze skupiny nástrojů „Spatial Analyst tools“, vytvoří kvazihomogenní jednotky (UCU – Unique Conditional Units) jednoduchým přeložením rastrových modelů. V důsledku vysokého počtu vstupních parametrů vstupujících do statistického hodnocení obsahuje mapa UCU statisíce možných kombinací vstupních parametrů. Dalším krokem je kombinace kvazihomogenních jednotek

(UCU) s rastrovou mapou svahových nestabilit v programu ArcGIS nástroj „zonal statistic“ ze skupiny nástrojů „Spatial Analyst tools“. Výsledné kombinace, ve kterých se nacházejí svahové nestability (hodnota 1, true v mapě svahových nestabilit) se seřadí na základě vypočítané intenzity výskytu – poměru počtu buněk UCU se svahovými nestabilitami k celkové ploše UCU (výsledek uspořádaný sestupně udává kombinace, které jsou z hlediska sesouvání nejnepříznivější).

Výsledkem tohoto součtu je interval hodnot od 0 do 1, reprezentujících různý stupeň sesuvného hazardu. Tento interval je nutné reklasifikovat do třech anebo do pěti pravidelných tříd. Jedná se o nejjednodušší klasifikační metodu pravidelného rozdělení. Sofistikovanější způsoby klasifikace jsou založené na různých matematických rozděleních.

Použitá klasifikace rozdělení tohoto intervalu vychází z přirozených hranic (tzv. natural breaks – obr. 10) a vyčleňuje pět tříd sesuvného hazardu (obr. 11). Tato metoda rozděluje soubor dat do tříd porovnáním součtu rozdílů čtverců na základě mediánu třídy. Princip spočívá ve vzestupném seřazení hodnot, následném součtu rozdílu čtverců (SRČ) pro určení první možné hranice a kalkulaci dalších hranic podle rovnice:

$$SRČ_{i..j} = \sum_{n=i}^j (A[n] - \text{medián})^2 \quad [10]$$

kde:

SRČ.... je součet rozdílů čtverců,

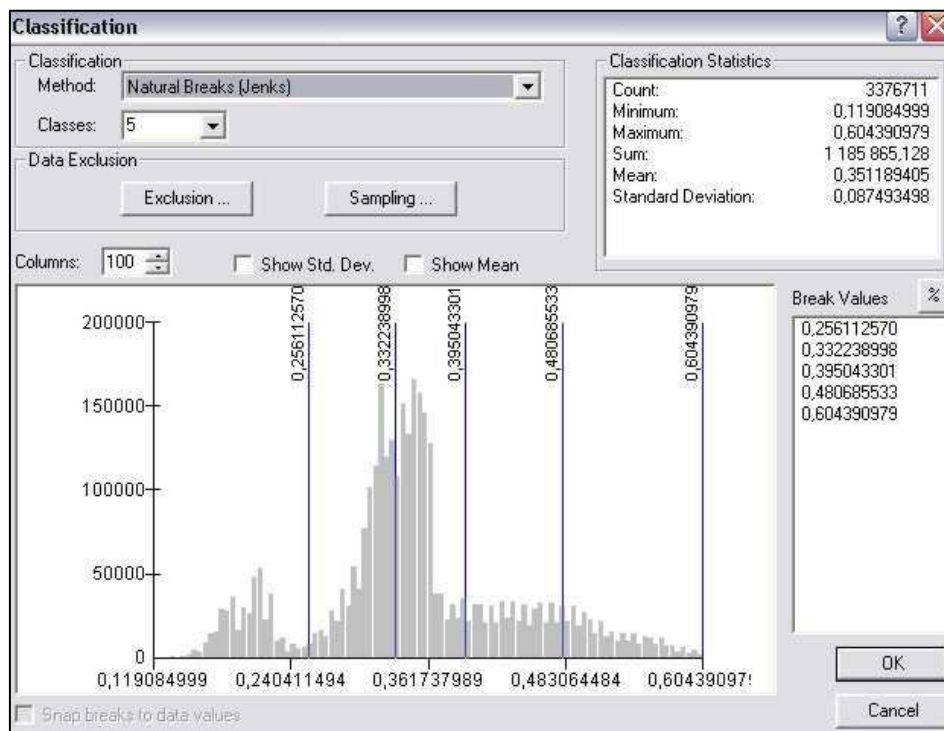
A..... je soubor dat (vzestupně uspořádaných hodnot).

Dalším často používaným přístupem je rozdělení intervalu hodnot na kvantily, což jsou ve statistice čísla (hodnoty), která dělí soubor seřazených hodnot na několik zhruba stejně velkých částí. Kvantil je míra polohy rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny. Kvantil je tedy hodnota znaku, pro kterou platí, že nejméně p-procent prvků má hodnotu menší nebo rovno x_p a zbytek (tedy 100 - p procent) prvků je větších nebo rovno x_p (viz. Obr. 11).

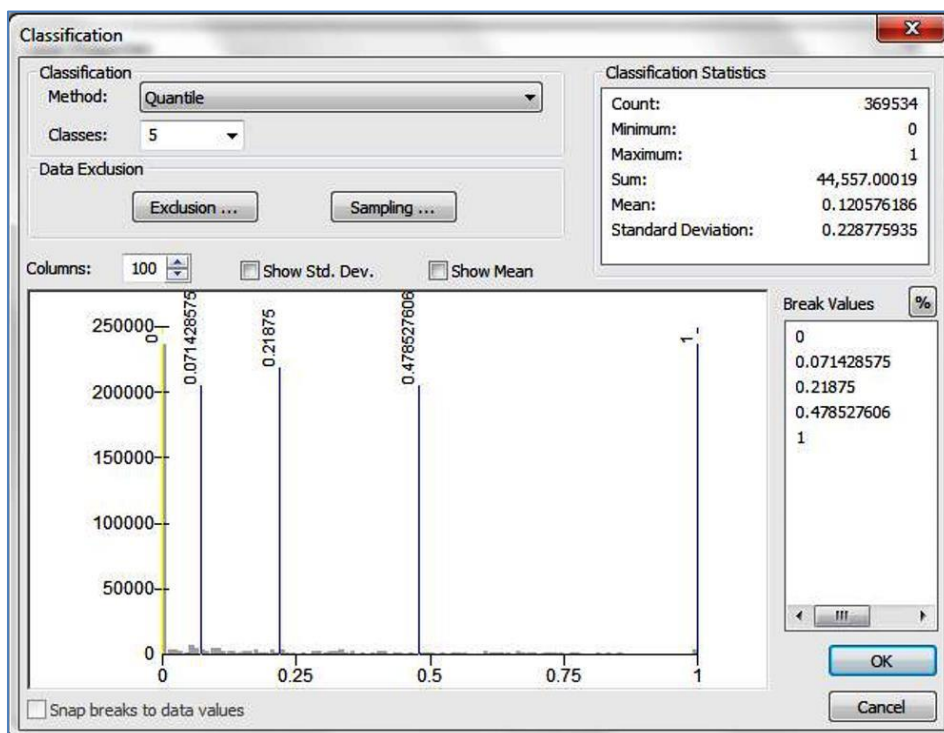
Výběr klasifikace rozdělení závisí na uživateli metodiky a jeho zkušenostech. Obvykle se používá vizuální porovnání výsledné prognózní mapy s inventarizační mapou svahových nestabilit, kdy je nalezeno rozdělení, které více odpovídá známým svahovým nestabilitám.

Metodika určování sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami
Projekt TA04030824, TAČR

„Výzkum a hodnocení rizik svahových nestabilit v liniích hlavních plánovaných dopravních koridorů“



Obr. 10: Klasifikace tříd sesuvného hazardu na základě přirozených hranic (natural breaks)



Obr. 11: Klasifikace tříd sesuvného hazardu na základě pravděpodobnosti náhodné veličiny (quantile).

Metodika určování sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami

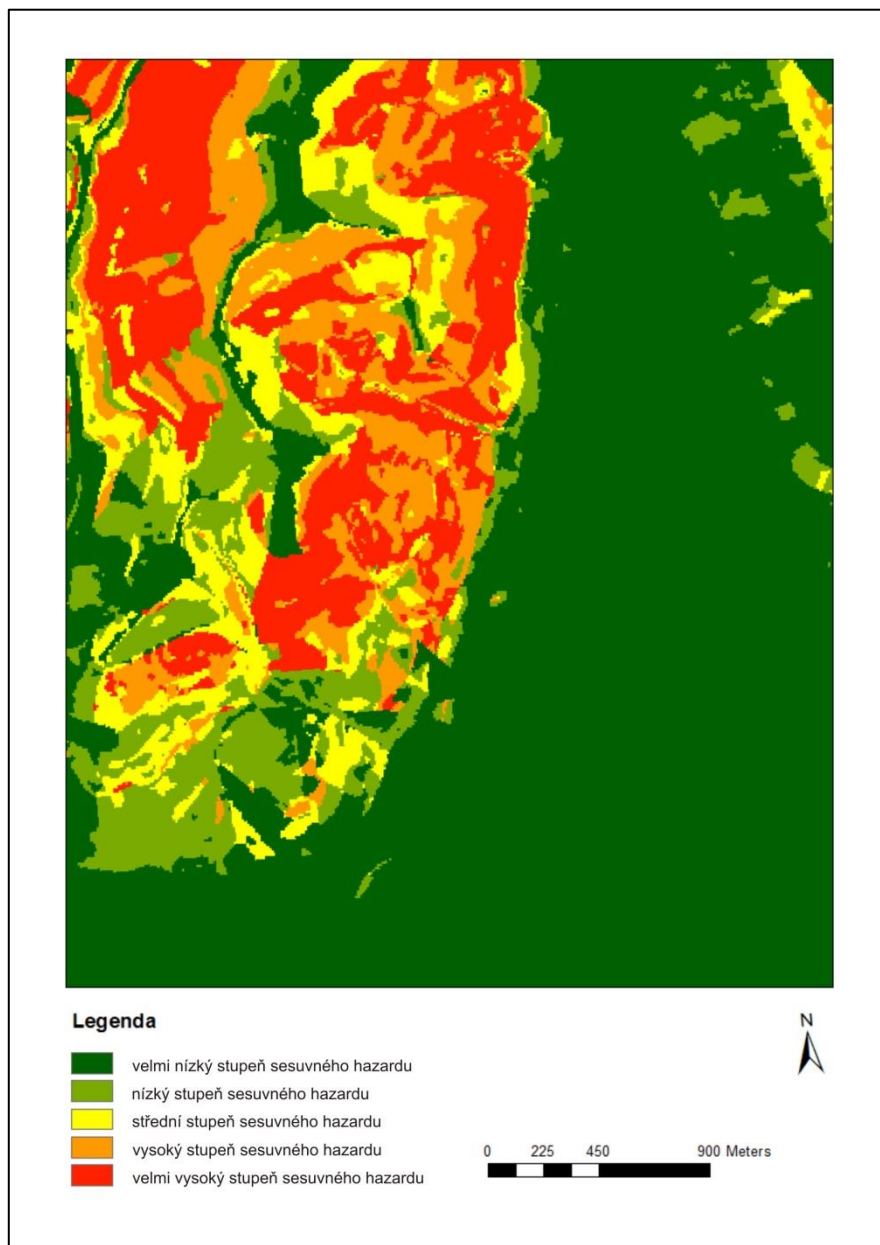
Projekt TA04030824, TAČR

„Výzkum a hodnocení rizik svahových nestabilit v liniích hlavních plánovaných dopravních koridorů“

Rozdělení na intervaly podle stupně sesuvného hazardu je následující:

1. Velmi nízký stupeň sesuvného hazardu
2. Nízký stupeň sesuvného hazardu
3. Střední stupeň sesuvného hazardu
4. Vysoký stupeň sesuvného hazardu
5. Velmi vysoký stupeň sesuvného hazardu

Příklad výsledné mapy je uveden na obr. 12.



Obr. 12: Mapa sesuvného hazardu – výřez výsledné mapy.

11. Verifikace prognózních map

Po sestavení prognózní mapy je nevyhnutelné vyhodnotit její výpovědní hodnotu, tedy mapu verifikovat. V 80. letech, kdy vznikaly první mapy náchylnosti území a sesuvného hazardu na sesouvání pomocí mapové algebry implementované do GIS prostředí, byly tyto mapy verifikovány vizuálním porovnáním prognózní mapy s mapou registrovaných svahových deformací (BRABB, 1984).

Nejdůležitějším kritériem pro hodnocení kvality prognózní mapy je sestavení modelu úspěšnosti, který posuzuje vztah mezi prognózou a mapou svahových nestabilit. Model úspěšnosti porovnává hustotu sesuvů v mapě registrace svahových deformací (přítomnost resp. absence svahové deformace, binární rastr 1/0) s různými stupni náchylnosti v prognózní mapě náchylnosti na sesouvání, resp. v mapě sesuvného hazardu.

V literatuře je možné najít více technik verifikace prognózních map. Ověřené jsou postupy pomocí metod statistické úspěšnosti.

K verifikaci stupně úspěšnosti sestavených prognózních map sesuvného hazardu byl použit jednoduchý, ale velmi účinný a postačující způsob ověření prognózní mapy a to porovnání resp. překrytí s rastrovou mapou registrovaných svahových nestabilit. Při verifikaci se porovnává plocha sesuvů z rastrové mapy registrovaných svahových nestabilit s plochou, kterou zabírá vysoký a velmi vysoký stupeň sesuvného hazardu, tudíž třída 4 a 5 v prognózní mapě. Prognózní mapa sesuvného hazardu sestavená multivariační metodou musí mít úspěšnost větší jak 80 %, což znamená, že víc jak 80 % aktuálně registrovaných svahových nestabilit se nachází ve třídách 4 a 5, tedy ve třídách s vysokým resp. velmi vysokým stupněm sesuvného hazardu. Vhodným postupem je i následné terénní ověření vytipovaných míst zájmového území terénní rekognoskací porovnávající dosažené výsledky modelování a stávající registrační databázi svahových nestabilit.

Autoři v rámci verifikace prognózních map velmi často používají nejjednodušší způsob a to překrytí rastrové mapy registrovaných svahových deformací s prognózní mapou (BEDNARIK 2001, 2007, NANDI, SHAKOOR, 2009, CONSTANTIN et al., 2010).

Pokud úspěšnost analýzy je ve výsledku větší než 80 %, lze konstatovat, že:

- v zájmovém území se nachází dostatek svahových nestabilit a jedná se tedy o území vhodné pro statistické zpracování,
- byl zvolen vhodný výběr parametrů ovlivňujících stabilitu svahů,
- bylo provedeno správné polohové zpracování parametrických map ve vektorové a následně rastrové formě,
- byly vhodně zvolené postupy při reklasifikaci parametrických map,
- byly vhodně zvolené rozdělení intervalu sesuvného hazardu do 5 tříd na základě přirozených hranic (natural breaks) nebo kvantilů (quantile)

12. Omezení metodiky

1. Metodika je prvním krokem pro územní plánování, který navrhne průběh trasy na základě geologických a morfologických podmínek, nezahrnuje však střety zájmů (např. ochranných pásem vodních zdrojů, přírodních rezervací, oblastí NATURA 2000 a jiná vyhlášená ochranná nebo bezpečnostní pásma). Tato omezení využití území je nutné provést v dalším kroku a trasu liniové stavby korelovat se všemi oblastmi zájmů.

2. Metodika je pouze pomocným nástrojem. Nutným krokem je podrobný terénní výzkum a to především v území, kde byla vypočítána vysoký a velmi vysoký sesuvný hazard. Pro ulehčení rozhodování je určena druhá předložená metodika, která vzniká při řešení tohoto projektu a odhaduje náklady na zabezpečení svahu při průchodu liniové stavby sesuvným územím tak, aby bylo možno zvolit optimální trasu ve vztahu k finančním nákladům.

3. Metodika je vhodná pro pokročilého uživatele prostředí GIS.

4. Metodika je vhodná pro uživatele, který má pokročilé znalosti jak z oborů geografie pro vyhodnocení informací o daném území a současně pokročilé znalosti z geologických věd a to především o litologii, inženýrské geologii pro správné zařazení jednotlivých litologických celků do skupin s podobnými mechanickými vlastnostmi a v neposlední řadě i zkušenosti s terénním mapováním svahových nestabilit a jejich podrobném popisu.

5. Metodika je vhodná pouze pro území s dostatečným počtem registrovaných svahových nestabilit, kdy s hustotou registrovaných svahových nestabilit roste i přesnost této metodiky. Je nesnadným úkolem zpracovatele předem odhadnout dostatečnost údajů. V případě nesprávného odhadu přesnosti metodiky při její verifikaci dojde ke zjištění úspěšnosti méně než 80 %.

Použitá literatura:

ALEOTTI, P. – CHOWDHURY, R. (1999): Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. In: Bulletin of Engineering geology and Environment, Vol. 58, no. 1, pp. 21 – 44. Springer-Verlag, Berlin.

BÍL M.– KUBEČEK J. –ANDRÁŠIK R. (2014): An epidemiological approach to determining the risk of road damage due to landslides. Nat Hazards 73(4):1323–1335. Springer-Verlag, Berlin.

BEDNARIK, M.– CLERICI, A.–TELLINI, C.–VESCOVI, P. (2005): Using GIS GRASS in evaluation of landslide susceptibility in Termina valley in the Northern Appennines (Italy). - In: Proceedings of the Conference on Engineering Geology: Forum for young engineering geologists (Moser, M. ed.). DGGT Erlangen-Nürnberg, Fridrich – Alexander – University of Erlangen- Nürnberg, April 6th to 9th 2005, pp. 19 – 24.

BEDNARIK, M.: Hodnotenie náchylnosti územia Handlovskej kotliny na svahové pohyby. Bratislava: PRIF UK, 2001. 40 s. Diplomová práca.

BEDNARIK, M. (2007): Hodnotenie zosuvného rizika pre potreby územnoplánovacej dokumentácie. Bratislava: PRIF UK, Kandidátska dizertačná práca.

BLAHŮT, J. – KLIMEŠ, J. (2011): Příspěvek k české terminologii ve studiu rizik ze svahových deformací. Geografie, 116, č. 1, s. 79–90., Praha.

Brabb, E. (1984): Innovative Approaches for Landslide Hazard Evaluation. IV International Symposium on Landslides, Toronto, 307-323.

CEBECAUER, T., HOFIERKA, J., ŠŮRI, M. (2000): Vplyv kvality údajov na modelovanie povrchového toku vody. In: Lacika, J. (ed.): Zborník referátov, 1. konferencia ASG pri SAV. Bratislava: ASG pri SAV, 2000, s. 27 – 34.

CLERICI, A. (2002): A GRASS GIS based shell script for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. In: Ciolli, M., Zatelli, P. (eds.), Proceedings of the Open source GIS GRASS users conference, Trento, Italy, 2002.

CONSTANTIN, M., BEDNARIK, M., JURCHESCU, M., C., VLAICU, M.: The landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). In: Environmental Earth Sciences, DOI 10.1007/s12665-010-0724- y, Published online: 05 September 2010

Metodika určování sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami

Projekt TA04030824, TAČR

„Výzkum a hodnocení rizik svahových nestabilit v liniích hlavních plánovaných dopravních koridorů“

GLADE, T. – CROZIER, M. J. (2005): The nature of landslide hazard impact. In: Glade, T., Anderson, M., Crozier, M. J. (eds.): *Landslide hazard and risk*. Wiley, New York, s. 43–74.

HOFIERKA, J. (2003): *Geografické informačné systémy a diaľkový prieskum Zeme*. Vysokoškolské učebné texty. Prešovská Univerzita. Fakulta humanitných a prírodných vied. ISBN 80-8068-219-4. Prešov. 106 s.

HRAŠNA, M., 1983: *Metódy inžinierskogeologického výskumu*. In MATULA, M. - ONDRÁŠIK, R.- HOLZER, R. - WAGNER, P.- HRAŠNA, M. - LETKO, V. Vysokoškolské skripta. PRIF UK Bratislava.

HUCHINSON, J.N. (1995): *Landslide Hazard Assessment*. Keynote Paper. In: Bell, D.H., Ed., *Landslides, Proceeding of 6th International Symposium on Landslides, Christchurch, Vol. 1*, Balkema, Rotterdam, p.1805-1841.

KOLEJKA, J. – RAPANT, P. (2015): *Scénáře podpory krizového řízení geoinformačními technologiemi. Optimalizace aktivit při přívalové povodni, při ohrožení svahovými pohyby a toxickou havárií na silnici a železnici*. Ústav geoniky AV ČR a VŠB-TU, Brno.

KREJČÍ, O. – BAROŇ, I. – BÍL, M. – JUROVÁ, Z. (2002): Some examples of deep-seated landslides in the Flysch Belt of the Western Carpathians. – In: J. Rybář, – J. Štemberk – P. Wagner (eds.): *Proceedings of the first European conference on landslides, Prague, Czech Republic, June 24. - 26. 2002*, A. A. – Balkema, p. 373–379.

KREJČÍ, Z. – MORAVCOVÁ, O. – AMBROZEK, V. – BINKO, R. – ČÍŽEK, D. – ČOUPEK, P. – KLIMEŠ, J. – HÁJEK, P. – KYCL, P. – MARTÍNEK, K. – METELKA, V. (2011): *Vytvoření interaktivní mapy rizika porušení stability svahů a skalního řízení v České republice*. Závěrečná zpráva projektu SP/1c5/157/07, MS Archiv ČGS. Praha.

LEROI, E. (1996): *Landslide hazard - Risk maps at different scales : objectives, tools and development*. ISL'96, 7th International Symposium on Landslides, 17-21 June 1996. Trondheim, Norway. CRC Press, USA.

Nandi A. & Shakoor A., 2009: *A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses*. Engineering Geology, Elsevier, Amsterdam.110, 11–20

ONDRÁŠIK, R. – ANDOR, L. – GAJDOŠ, A., V. – HOLZER, R., HRAŠNA, M., KLUKANOVÁ, A. – LIŠČÁK, P. – MALGOT, J. – MODLITBA, I. – PETRO, L. – SLIVOVSKÝ, M. – VOJTAŠKO, I. – VLČKO, J. (2002): *Vybrané termíny z oblasti geológie a životného prostredia*. In: *Mineralia Slovaca(Geovestník)*, Vol. 34, 2002, s. 13 – 14. ŠGÚDŠ, Bratislava.

Metodika určování sesuvného hazardu v prostředí ohroženém svahovými nestabilitami

Projekt TA04030824, TAČR

„Výzkum a hodnocení rizik svahových nestabilit v liniích hlavních plánovaných dopravních koridorů“

PAUDITŠ, P. (2005): Hodnotenie náchylnosti územia na zosúvanie s využitím štatistických metód v prostredí GIS. Bratislava: PRIF UK. Kandidátska dizertačná práca.

TORNYAI, R., (2012): Kvantitatívne hodnotenie zosuvného hazardu pre región Kysúc Diplomová práca., Bratislava: PRIF UK. Kandidátska dizertačná práca. 1 – 93.

ŠÚRI, M. – CEBECAUER, T. – HOFIERKA, J. (2003): Digitálne modely reliéfu a ich aplikácie v životnom prostredí. - In: Životné prostredie, 37 (1), 2003. s. 30-35. Ústav krajinnej ekológie SAV, Bratislava.

VARNES, D. J. (1984): Landslide hazard zonation: A review of principles and practice. UNESCO, Paris, 63 s.

Ostatní zdroje:

GEOPORTAL.CUZZK.CZ (2017): Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED®)[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(ymyg4cx3jxmh4ndgnboceaa\)\)/default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=zabaged&metadataID=CZ-CUZZK-ZABAGED-VP&mapid=8&menu=241](http://geoportal.cuzk.cz/(S(ymyg4cx3jxmh4ndgnboceaa))/default.aspx?lng=CZ&mode=TextMeta&side=zabaged&metadataID=CZ-CUZZK-ZABAGED-VP&mapid=8&menu=241) [Shlédnuto dne: 1. 11. 2017].

GEOLOGY.CZ (2017): <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace> [Shlédnuto dne: 1. 11. 2017].

GEOLOGY.CZ (2017): http://mapy.geology.cz/geocr_50/ [Shlédnuto dne: 1. 11. 2017].

GEOLOGY.CZ (2017): http://mapy.geology.cz/svahove_nestability [Shlédnuto dne: 1. 11. 2017].

Seznam obrázků:

Obr. 1: Mapa výskytu svahových nestabilit v ČR (http://mapy.geology.cz/svahove_nestability/, 2017)

Obr. 2: Klasifikace metod hodnocení sesuvného hazardu (ALEOTTI a CHOWDHURY, 1999)

Obr. 3: Princip multivariační statistické analýzy (PAUDITŠ, 2005)

Obr. 4: Náhled mapy IG rajónování v měříku 1 : 50 000 s příslušnou legendou

Obr. 5: Digitální model reliéfu – výřez reklasifikované parametrické mapy

Obr. 6: Sklony svahů – výřez reklasifikované parametrické mapy

Obr. 7: Orientace vůči světovým stranám – výřez reklasifikované parametrické mapy

Obr. 8: Současná krajinná struktura – výřez reklasifikované parametrické mapy

Obr. 9: Svahové nestability – výřez reklasifikované parametrické mapy

Obr. 10: Klasifikace tříd sesuvného hazardu na základě přirozených hranic (natural breaks)

Obr. 11: Klasifikace tříd sesuvného hazardu na základě přirozených hranic (quantile)

Obr. 12: Mapa sesuvného hazardu – výřez výsledné mapy

Seznam tabulek:

Tab. 1: Klasifikace sklonitosti svahů podle HRAŠŇNY (1980, in MATULA et al., 1983)

Tab. 2: Kategorie orientace svahů vůči světovým stranám